

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

**FAKULTA TEXTILNÍ**

Študijný program: M3106 – Textilné inžinierstvo

Študijný obor: 3106 T – Textilná technológia

**ANALÝZA CHLPATOSTI ROTOROVÝCH PRIADZÍ**

**The hairiness analysis of OE yarn**

Tomášiková Blanka

KTT

**Vedúci diplomovém práce:** Prof. Ing. Bohuslav Neckář, DrSc.

**Konzultant:** Ing. Gabriela Krupincová

**Rozsah práce:**

Počet strán textu: 57

Počet obrázkov: 17

Počet tabuliek: 3

Počet grafov: 11

Počet príloh: 15

## **Zadanie**

## Prehlásenie

Prehlasujem, že predložená *diplomová* práca je pôvodná a spracovala som ju samostatne. Prehlasujem, že citácia použitých prameňov je úplná, že som v práci neporušila autorské práva (v zmysle zákona č. 121/2000 Sb. O práve autorskom a o právach súvisiacich s právom autorským).

Súhlasím s umiestnením *diplomovej* práce v Univerzitetnej knižnici TUL.

Bola som zoznámená s tým, že na moju diplomovú prácu sa plne vzťahuje zákon č.121/2000 Sb. o práve autorskom, najmä § 60 - školské dielo.

Beriem na vedomie, že TUL má právo na uzavretie licenčnej zmluvy o užívaní mojej diplomovej práce a prehlasujem, že **s ú h l a s í m** s prípadným užitím mojej diplomovej práce (predaj, zapožičanie, kopírovanie apod.).

Som si vedomá toho, že užiť svoju diplomovú prácu či poskytnúť licenciю k jej využitiu môžem iba so súhlasom TUL, ktorá má právo od mňa požadovať primeraný príspevok na úhradu nákladov, vynaložených univerzitou na vytvorenie diela (až do jej skutočnej výšky).

V Liberci, dňa 15. 05. 2006

.....

Podpis

## **Pod'akovanie**

Rada by som sa na tomto mieste pod'akovala **Prof. Ing. Bohuslavovi Neckářovi, DrSc.** za jeho odborné vedenie mojej diplomovej práce, rady a cenné pripomienky. Tiež chcem pod'akovať **Ing. Gabriele Krupincovej** za obetavý prístup a pomoc pri riešení problémov.

Ďalej by som chcela pod'akovať svojim rodičom za psychickú podporu a materiálnu pomoc, ktorú mi v priebehu štúdia preukazovali.

## **Anotácia**

Cieľom tejto diplomovej práce bolo analyzovať chlpatosť rotorovej priadze vypradenú zo 100% CO. Na 15 priadzach bol skúmaný vplyv jemnosti a zákrutu na hodnoty charakteristík.

Teoretická časť obsahuje základné pojmy, ktoré sú kľúčom k pochopeniu problematiky chlpatosti. Tiež sú tu stručne objasnené metódy merania chlpatosti vyvinuté na katedre KAS a iné metódy merania chlpatosti, ktoré tejto metóde predchádzali.

V praktickej časti je opísané prístrojové vybavenie a programy, s ktorými sa počas merania a vyhodnocovania chlpatosti rotorových priadzí pracovalo. Výsledky chlpatosti priadzí získané metódou vyvinutou na katedre KAS boli porovnané z chlpatosťou získanou z prístroja Uster Tester 4.

Vlastný experiment obsahuje výsledky meraní, ktoré sú prezentované v tabuľkách a grafoch.

## **Annotation**

The aim of the diploma thesis was to analyse roughness rotary yarn matured from 100% CO. At 15 yarns was investigated effect of the gentleness and of the traverse to the attributes characteristic.

The theoretic chapter includes the basic terms which enable to understand the question of roughness. As well, here are shortly illustrated the methods of roughness measurement which are developed on department KAS and another methods of roughness measurement which had to anticipate to this method.

In the practice part is described the instrumentation and programs which were used during the measurement and plotting of roughness yarn. The method which was developed on department KAS was compared with roughness which was obtained from device Uster Tester 4.

This experiment includes the results of measuring which are presented in the bars and diagrams.

## **Kľúčové slová**

- Ä chlpatosť
- Ä rotorová priadza
- Ä jemnosť
- Ä zákrut
- Ä obrazová analýza
- Ä sčernenie

## **Key words**

- Ä hairiness
- Ä rotary yarn
- Ä fiber number
- Ä twist
- Ä image analysis
- Ä blackening

# Obsah

<b>Zoznam symbolov.....</b>	<b>9</b>
<b>1. Úvod .....</b>	<b>11</b>
<b>2. Teoretická časť .....</b>	<b>13</b>
<b>2.1 Základné pojmy .....</b>	<b>13</b>
2.1.1 Vlákno .....	13
2.1.2 Priadza.....	13
<b>2.2 Základné veličiny a vzťahy popisujúce priadzu.....</b>	<b>13</b>
2.2.1 Jemnosť priadze.....	13
2.2.2 Zákrut a šrobovicový model priadze .....	14
2.2.3 Priemer priadze.....	15
2.2.4 Zaplnenie priadze.....	16
<b>2.3 Teoretický model chlpatosti .....</b>	<b>17</b>
2.3.1 Pojem chlpatosti .....	17
2.3.2 Oblasti chlpatosti priadze .....	17
2.3.3 Prechod svetelných paprskov priadzou.....	20
<b>2.4 Vybrané metódy merania chlpatosti priadze .....</b>	<b>24</b>
2.4.1 Prístroj CRITTER - DAM II .....	24
2.4.2 Zariadenie založené na Chamberlainovom fotometrii.....	25
2.4.3 Metóda „PONDERAL“ .....	26
2.4.4 Zariadenie „Shirley Yarn Hairiness Meter“ .....	26
2.4.5 Zariadenie Zweigle G656 hairiness tester.....	27
2.4.6 Meranie chlpatosti na zariadení USTER – TESTER.....	27
<b>3. Experimentálna časť .....</b>	<b>28</b>
<b>3.1 Meranie chlpatosti pomocou obrazovej analýzy .....</b>	<b>28</b>
3.1.1 Princíp merania.....	28
3.1.2 Metóda merania „priehľadnosti“ priadze systémom obrazovej analýzy Lucia .....	28
3.1.3 Nastavenie svetelných parametrov .....	30
3.1.4 Snímanie pozdĺžnych pohľadov priadze .....	30
3.1.5 Prvotné spracovanie obrazu .....	31

3.1.6 Určenie priemeru priadze z pozdĺžnych pohľadov.....	33
3.1.7 Určenie parametrov teoretického modulu chlpatosti.....	33
3.1.8 Grafické vyjadrenie chlpatosti.....	35
<b>3.2 Vlastný experiment.....</b>	<b>37</b>
3.2.1 Experimentálny materiál .....	37
3.2.2 Postup nastavenia parametrov pre meranie.....	38
3.2.3 Úprava súboru obrazov pred spracovaním.....	38
3.2.4 Postup spracovania súboru obrazov.....	38
3.2.5 Výpočet parametrov teoretického modelu chlpatosti .....	39
3.2.6 Výpočet priemeru priadze a chlpatosti priadze .....	39
<b>3.3 Hodnotenie výsledkov.....</b>	<b>40</b>
3.3.1 Vyhodnotenie parametrov teoretického modelu chlpatosti .....	40
3.3.2 Vyhodnotenie priemeru priadze a porovnanie chlpatosti priadze .....	45
s výsledkom.....	45
3.3.3 Porovnávanie výsledkov meranie od dvoch hodnotiteľov.....	52
<b>4. Záver .....</b>	<b>54</b>
<b>5. Zoznam použitej literatúry .....</b>	<b>55</b>
<b>6. Prílohy .....</b>	<b>57</b>



## Zoznam symbolov

$d^*$	[mm]	„zväčšený ekvivalentný priemer“ vlákna
$d$	[mm]	priemer priadze
$d_s$	[mm]	substančný priemer priadze
$D$	[mm <sup>2</sup> ]	celková plocha v priečnom reze
$D_s$	[mm <sup>2</sup> ]	plocha vlákien v priečnom reze
$D_H$	[mm]	hustotný priemer
$H$	[-]	index chlpatosti zo zariadenia Uster Tester 4
$l_p$	[km]	dĺžka priadze
$l_{max}$	[km]	maximálna dĺžka vlákien priadze
$m_D$	[-]	počet vlákenných úsekov
$m_p$	[g]	hmotnosť priadze
$N$	[-]	počet typov chlpatosti
$P$	[-]	prieľadnosť priadze vo vzdialenosti x
$P_K$	[mm]	krycí priemer
$r$	[mm]	obecný polomer priadze
$r_D$	[mm]	polomer priadze
$r_{max}$	[mm]	maximálny polomer priadze
$s^*$	[mm <sup>2</sup> ]	rezná plocha vlákna s priemerom $d^*$
$\overline{s^*}$	[mm <sup>2</sup> ]	stredná hodnota reznej plochy vlákien na polomere $r$
$sh$	[-]	smerodatná odchylka chlpatosti
$S$	[mm <sup>2</sup> ]	substančný prierez priadze
$t$	[tex]	jemnosť vlákien
$T$	[tex]	jemnosť priadze
$V$	[mm <sup>3</sup> ]	objem vlákien
$V_c$	[mm <sup>3</sup> ]	celkový objem vlákenného útvaru
$Z$	[m <sup>-1</sup> ]	zákrut priadze

$Z'$	[-]	sčernenie, doplnok priehľadnosti P
$\beta$	[rad]	uhol stúpania šrobovice obecného vlákna priadze
$J_a$	[rad]	uhly
$\kappa$	[-]	intenzita zákrutu
$\rho$	[kg.m <sup>-3</sup> ]	merná hmotnosť vlákien
$\mu$	[-]	obecná hodnota zaplnenia priadze
$\mu_D$	[-]	zaplnenie na polomere $r_D$

## 1. Úvod

Vlákná doprevádzali človeka po celú dobu jeho života. Denne sa stretávame s ich prejavmi v textilných štruktúrach za najrôznejších podmienok. Vlákna v poslednej dobe prerástli silno oblasť textilu a stávajú sa tiež špeciálnym konštrukčným materiálom, buď samostatne, alebo v kompozitných štruktúrach [12].

Dejiny vývoja vlákien sú rovnako staré ako dejiny civilizácie ľudstva. Dnes sa nedá presne zistiť, kedy po prvýkrát v dejinách ľudstva nahradil človek kožušinu textíliou. Aj najprimitívnejšie národy však už vedeli spracovať vlákna na textilné výrobky [13].

Výroba textílií patrí k najstarším odborom ľudskej činnosti. Podľa archeologických nálezov vznikla v mladšej dobe kamennej. Mechanická textilná technológia vyzrela tisícročnou skúsenosťou do vysokej úrovne, pričom predstihovala veľa iných technických odborov ešte na prelome minulého tisícročia. Prudký nástup chemických vlákien a rýchly rozvoj modernej techniky však postavili textilnú technológiu pred problémy, ktoré nebolo možné riešiť iba na základe doterajších empirických skúseností. Náuka o priadzach, ich tvorbe, štruktúre a vlastnostiach sa rovnako ako celá náuka o textilných materiáloch a technológiách neustále rozvíja, prehľbuje a nachádza ďalšie možnosti svojho praktického uplatnenia. Priadza je významným poloproduktom textilnej výroby [2].

Textília bývala skôr chápaná jednoduchšie, ako vnútorne nediferencovaný alebo iba málo diferencovaný objekt. Dnes sa k nej naopak pristupuje ako k systému so zložitou vnútornou štruktúrou, ktorá je výsledkom jej tvorby a spolu s vlastnosťami vlákien príčinou osobitého chovania textílie [1].

Vláknenné útvary sú vo svojej stavbe a vo svojom chovaní plne podriadené obecným prírodným zákonom – tým istým zákonom, ktoré skúmajú prírodné vedy. Klasická prírodná veda sa zameriavala predovšetkým na najobecnejšie zákony určitého typu (napr. fyzikálne, chemické, biologické a i.) a ako objektom svojho záujmu dávala prednosť skôr pôvodným, zámernou ľudskou činnosťou nemodifikovaným materiálom. Moderná prírodná veda tieto obmedzenia rešpektuje stále menej. Dôkazom toho je aj rast hraničných odborov (biofyzika, fyzikálna chémia,

ekológia a i.) a tiež záujem o štúdium štruktúry a chovania niektorých špeciálnych, človekom vytvorených materiálov [1].

Exaktné zákonitosti tvorby, štruktúry a vlastností priadzí zostávajú neustále otvoreným problémom [2].

Chlpatosť priadze patrí k dôležitým vlastnostiam priadzí. Výrazným spôsobom ovplyvňuje ako spracovateľské vlastnosti priadze, tak aj úžitkové vlastnosti koncového výrobku. Preto je dôležité vhodným spôsobom zaistiť jej meranie a vyhodnocovanie [3].

Rotorové priadze majú obecnú štruktúru ako klasické prstencové a teda úplne iný mechanizmus ich spriadania bude mať pravdepodobne vplyv na obidva typy chlpatosti – blízku chlpatosť aj jednotlivé odstavajúce vlákna.

Chlpatosť priadze, hlavne „hustá chlpatosť“ prilieha k vnútornej časti priadze a pozitívne ovplyvňuje úžitkové vlastnosti priadze. Vďaka hustej chlpatosti má priadza jemnejší, mäkkší omak a zamatový vzhľad. Riedka chlpatosť má naopak väčšinou nepriaznivý vplyv na spracovateľské vlastnosti. U hotových plošných textílií môže spôsobiť vznik žmolkov [4].

Cieľom diplomovej práce bolo preskúmať a vyhodnotiť chlpatosť na súbore bavlnených rotorových priadzí, popísať zákonitosti ich chovania a overiť závislosť parametrov chlpatosti na jemnosti a na zákrute priadze.

Pre experiment bola v práci použitá metóda merania chlpatosti pomocou obrazovej analýzy, ktorá umožňuje skúmať oblasť chlpatosti v blízkom okolí priadze. Obrazová analýza poskytuje výsledky v podobe tieňového obrazu priadze. Aby bolo možné určiť parametre potrebné k určeniu kriviek chlpatosti, bol Neckárom vytvorený model chlpatosti.

## 2. Teoretická časť

### 2.1 Základné pojmy

#### 2.1.1 Vlákno

Vlákno je základná stavebná jednotka všetkých textílií. Pojem vlákno je chápané ako dostatočne dlhý a tenký útvar. V textilnej praxi sa používa pojem textilné vlákno. Tým sa rozumie vlákno, ktoré sa používa v textilnej technológii.

#### 2.1.2 Priadza

Priadzu je možné definovať ako dĺžkovú textíliu zloženú zo spriadateľných vlákien, spevnenú zákrutom alebo pojením tak, že pri pretrhnutí priadze dochádza aj k pretrhnutiu jednotlivých vlákien [14].

### 2.2 Základné veličiny a vzťahy popisujúce priadzu

K základným vlastnostiam materiálu, ktorý tvorí priadzu, patrí *merná hmotnosť*  $\rho$  a *jemnosť*  $t$  vlákien.

K veličinám popisujúcim priadzu patrí *jemnosť*  $T$  priadze, *zákrut*  $Z$  priadze, a pretože priadza svojím tvarom pripomína valec, patrí sem tiež *priemer*  $d$  priadze [2]. Každá z uvedených veličín bude v nasledujúcom texte opísaná podrobnejšie.

#### 2.2.1 Jemnosť priadze

Jemnosť priadze je definovaná ako podiel hmotnosti priadze  $m$  k dĺžke priadze  $l$ . Je možné ju tiež vyjadriť ako súčin hustoty vlákien  $\rho$  a súčtovej plochy všetkých vlákenných rezov v priereze priadze, ktorá sa označuje ako *substančný prierez*  $S$ .

$$T = \frac{m}{l} = \rho S. \quad (1)$$

Pozn.: Bežne sa jemnosť (dĺžková hmotnosť, hrúbka) vyjadruje v jednotkách *tex*, tj. hmotnosť úseku priadze  $m$  [g] k jej dĺžke  $l$  [km] [7].

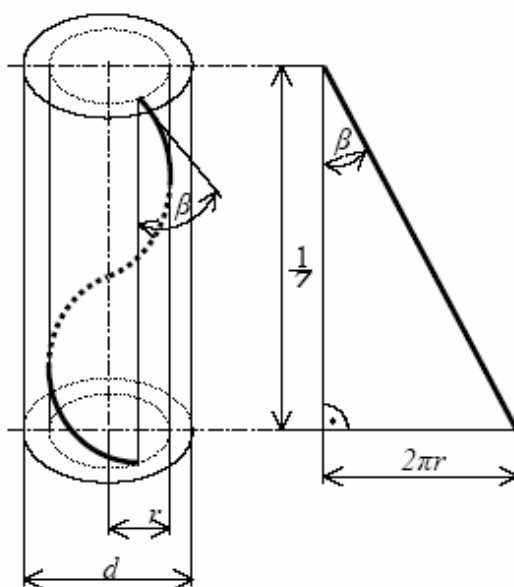
Pomocou sústavy *tex* je jemnosť priadze vyjadrená v jednotkách [tex], čo predstavuje hmotnosť priadze v [g] vzt'áženú na dĺžku priadze 1000 m [15].

### 2.2.2 Zákrut a šrobovicový model priadze

Zákrut priadze  $Z$  je počet ovinov vzt'ážených na jednotkovú dĺžku priadze. Zákrut priadze súvisí s jemnosťou priadze, priemerom priadze a zaplnením (viz Koechlinova hypotéza, Phrixova korelace a komprimačná hypotéza uvedené v [2]).

Obecne platí, že jemnejšie priadze majú menší počet vlákien v priereze, menší priemer a sú pradené väčšinou s vyšším zákrutom. So zvyšujúcim sa zákrutom sú vlákna viac stláčané, zaplnenie rastie a priemer sa zmenšuje.

Exaktný popis štruktúry priadze z hľadiska usporiadania vlákien je veľmi zložitý, preto sa často využíva ideálny šrobovicový model priadze (obr. č. 1), ktorý vychádza z určitých predpokladov.



Obr. č. 1: Šrobovica vlákna na obecnom polomere  $r$  [7]

Predpoklady: - priadzu tvorí valec o priemere  $d$ ,

- osy vlákien tvoria sústavu súosých šroubovic na obecných

polomeroch  $r \in (0; d/2)$ ,

- vlákna sú valcové a ich prierez je kruh o polomere  $d_e$   
a ploche  $s$  [6].

Výška stúpania šrobovice je rovná  $1/Z$ . Medzi uhlom stúpania šrobovice  $\beta$  obecného vlákna a zákrutom  $Z$  (počet ovinkov na jednotku dĺžky) platí vzťah:

$$\operatorname{tg} b = 2 p r Z . \quad (2)$$

Intenzita zákrutu  $\kappa$  je podľa vzťahu (2) pre  $2r = d$  daná vzťahom

$$k = p d Z , \quad (3)$$

kde  $d$  označuje priemer priadze [7].

### 2.2.3 Priemer priadze

Pokiaľ by vlákna priadze boli stlačené do homogénneho valca o ploche substančného prierezu  $S$ , priadza by mala priemer

$$d_s = \sqrt{\frac{4S}{p}} = \sqrt{\frac{4T}{pr}} . \quad (4)$$

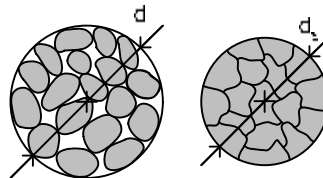
Tento priemer je teoretický najmenší možný priemer priadze (bez vzduchu) a označuje sa ako substančný priemer.

Priadza ale nie je homogénne teleso, medzi vláknami sú vzduchové medzere. Hustota stesnania vlákien po priereze nie je rovnomerná a smerom k povrchu prechádza spojito do oblasti chlpatosti. Preto neexistuje jednotná a jednoznačná definícia priemeru priadze  $d$ .

Je to pojem teoretický, ktorý vychádza z priemeru najmenšieho mysleného valca, v ktorom je sústredená buď všetka hmota priadze, alebo aspoň jej podstatná časť. Priemer priadze leží niekde v intervale, kde prechodová oblasť priadze prechádza do oblasti chlpatosti [7].

Priemer priadze sa určuje na základe vzťahu

$$d = \sqrt{\frac{4T}{pmr}}. \quad (5)$$



Obr. č. 2 Priemer priadze  $d$  a substančný priemer priadze  $d_s$  [7]

#### 2.2.4 Zaplnenie priadze

Zaplnenie  $\mu$  je definované ako podiel objemu vlákien k celkovému objemu elementárneho vlákenného útvaru.

$$m = \frac{V}{V_c} = \frac{D_s^2}{D^2}; \quad m \in \langle 0; 1 \rangle. \quad (6)$$

Zaplnenie je možné interpretovať aj z priečneho rezu ako podiel plochy vlákien v priečnom reze priadze k celkovej ploche priečneho rezu.

Zaplnenie sa po priereze priadze mení. Najvyššiu hodnotu dosahuje v jadre priadze, kde sú vlákna najviac stlačené vonkajšími vrstvami zakrútených vlákien. Smerom k povrchu zaplnenie klesá [16].



## 2.3 Teoretický model chlpatosti

### 2.3.1 Pojem chlpatosti

Chlpatosť je charakterizovaná množstvom z priadze alebo z plošnej textílie (tkanina, záťažná pletenina, rúno) vystupujúcich alebo volne pohyblivých koncov vlákien, alebo vlákenných smyčiek. Kritériom pre posúdenie je počet odstavajúcich vlákien ako dĺžkových jednotiek alebo plošných jednotiek v smere kolmom k priadzi, alebo plošne nameraného odstupu koncov vlákien [8].

Chlpatosť priadze je dôležitá vlastnosť priadze. Ovpľyvnúje ako spracovateľské vlastnosti priadze (zoskateľnosť, spotrebu šlichty, atd.), tak aj úžitkové vlastnosti koncového produktu (omak, zaplnenie plošnej textílie, vzhľad, atd.). Pri posudzovaní týchto vlastností je potrebné rozlišovať typy chlpatosti:

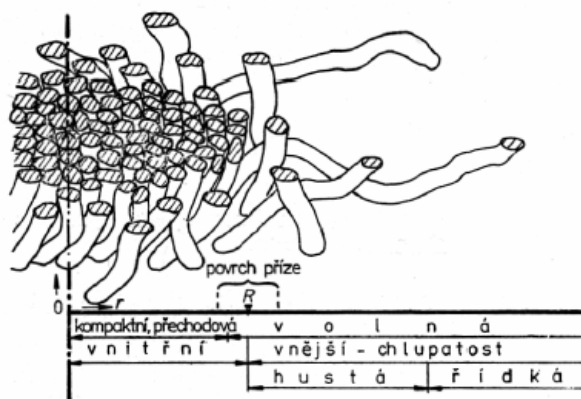
1. Hustá chlpatosť: tj. akýsi „mech“ na priadzi, je tesne priliehajúci k vnútornej časti priadze a ovpľyvnúje prevažne kladné, hlavne úžitkové vlastnosti textílií. „Chlpatejšia“ plošná textília má vyššie zakrytie, teda aj lepšie tepelno-izolačné vlastnosti. Takáto priadza má jemnejší, mäkší omak, zamatový vzhľad, atď. [8].

2. Riedka chlpatosť: tj. dlhé „vlajúce“ konce vlákien, ovpľyvnúje hlavne spracovateľské vlastnosti a to prevažne negatívne. Negatívne ovpľyvnúje aj úžitkové vlastnosti. U náročných bavlnárskych tkanín ako napr. popelíny môže spôsobiť „nekľudný“ vzhľad hotovej plošnej textílie, alebo vznik žmolkov [8].

### 2.3.2 Oblasti chlpatosti priadze

V určitej oblasti okolo osy staplovej priadze je sústredená podstatná časť vlákenného materiálu priadze. Vlákná sú vplyvom zákrutu pomerne silno stlačené, priliehajú k sebe a v mnohých miestach sa vzájomne dotýkajú. Tento materiál je považovaný za nosnú oblasť priadze. S rastúcim polomerom priadze mierne klesá zaplnenie. Na väčších polomeroch sa hustota stesnania vlákien najskôr rýchlo znižuje a potom klesá stále povolnejšie do priestoru, kde sa iba tu a tam vyskytne osamotený

koniec vlákna. Túto oblasť považujeme za „vonkajší obal“ priadze, ale tiež sa nazýva oblasťou chlpatosti priadze [9].



Obr. č. 3: Oblasti priadze [8]

Prechod z nosnej časti do oblasti chlpatosti priadze je spojitý, preto zistenie priemeru priadze nie je jednoduché.

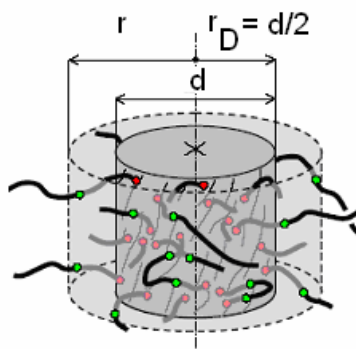
Oblasť chlpatosti začína na polomere

$$r_D = \frac{d}{2}; \quad (7)$$

kde  $r_D$  je polomer priadze a jeho dvojnásobok  $d = 2 r_D$  je priemer priadze (obr.č. 4).

Do priemeru priadze platia zákony mechaniky, zatiaľ čo za priemerom priadze sú to už zákony geometrie.

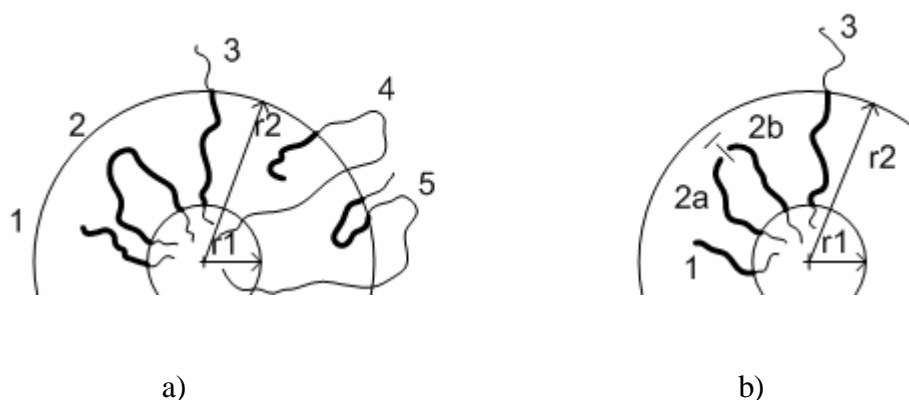
Na druhej strane najväčší polomer  $r_{max}$ , na ktorom sa ešte môže vyskytovať vlákenný materiál, je daný súčtom polomeru priadze a maximálnej dĺžky  $l_{max}$  staplových vlákien priadze [9].



Obr. č. 4: Vyčnievajúce vlákna [17]

Oblasť chlpatosti priadze sa rozkladá na polomere  $r$  väčších ako je polomer  $r_D$ . Oblasť chlpatosti je iba riedko prestúpená vláknami, zaplnenie  $\mu$  je na všetkých polomeroch malé a s rastúcim polomerom  $r$  klesá k 0 [10].

V oblasti chlpatosti medzi zvolenými polomerami  $r_1$  a  $r_2$ ,  $r_D \leq r_1 < r_2 \leq r_{max}$  môžeme pozorovať rôzne typy vláknenných úsekov (obr. č. 5) [9].



Obr. č. 5: Rozmanité typy vláknenných úsekov [9]

Pri pohľade v smere osy priadze sú znázornené na obr. 5a) silnou čiarou. Prechádzajúce úseky typu 3 pretínajú obidva polomery. Naproti tomu konce vlákien 1 alebo 4 a obraty vlákien 2 alebo 5 pretínajú iba jeden z polomerov a ich počet na rôznych polomeroch je rôzny.

Tvarovú rozmanitosť úsekov, ktoré sú znázornené na obrázku 5a) je možné zjednodušiť. Konce vlákien 4 a obraty 5 sa vyskytujú iba veľmi zriedkavo a preto je možné ich vplyv zanedbať. Naproti tomu obraty typu 2 sa vyskytujú často a to hlavne v okolí polomeru priadze. Sú to vlákna, ktoré sú obidvoma koncami zakotvené vo vnútornej časti priadze. Na vláknach takéhoto typu môžeme urobiť vo vrchole myslený rez, ktorý je znázornený krátkou čiarou na obr. 5b). Obrat 2 je teda nahradený úsekmi 2a, 2b, tj. dvojicou koncov typu 1. Preto budeme uvažovať medzi polomerami  $r_1$  a  $r_2$  iba úseky znázornené na obr. 5b) [9].

Tieto zjednodušené úvahy platia pre všetky možné dvojice polomerov  $r_1$  a  $r_2$ . Každý uvažovaný vláknenný úsek, ktorý vychádza z polomeru  $r_D$  a prechádza rastúcimi polomerami končí na svojom najväčšom polomere. Počet vláknenných úsekov  $m_D$

vystupujúcich z polomeru priadze  $r_D$  je zároveň počtom všetkých vlákenných úsekov, ktoré tvoria oblasť chlpatosti.

Zo skúsenosti vyplýva, že konce skutočných vlákien (typu  $I$ ) a myslených vlákien (typu  $2a$ ,  $2b$ ) sú v oblasti chlpatosti rozložené náhodne a polohy koncov jednotlivých vlákien sa štatisticky významne neovplyvňujú [9].

Predpoklady, ktoré vyplývajú z predchádzajúcich úvah:

Vláknenné úseky tvoriace oblasť chlpatosti :

1. sú všetky zakotvené vo vnútornej časti priadze,
2. vychádzajú z polomeru priadze  $r_D$ ,
3. každým polomerom  $r \geq r_D$  prechádzajú najviac jedenkrát,
4. ich konce sú umiestnené náhodne a štatisticky nezávisle.

Aby bola formulácia zjednodušená a sprehl'adená bude zavedená ešte terminologická *konvencia*: Vlákenný úsek z oblasti chlpatosti priadze, od počiatočného polomeru  $r_D$ , až po jeho koniec sa bude nazývať „vlákno“ [9].

### 2.3.3 Prechod svetelných paprskov priadzou

Princíp merania chlpatosti priadze je založený na prechode svetelných paprskov priadzou a určení hraníc medzi telom priadze a oblasťou chlpatosti.

Uvažujeme, že oblasť chlpatosti priadze je tvorená vláknami z niekoľko typov chlpatosti.

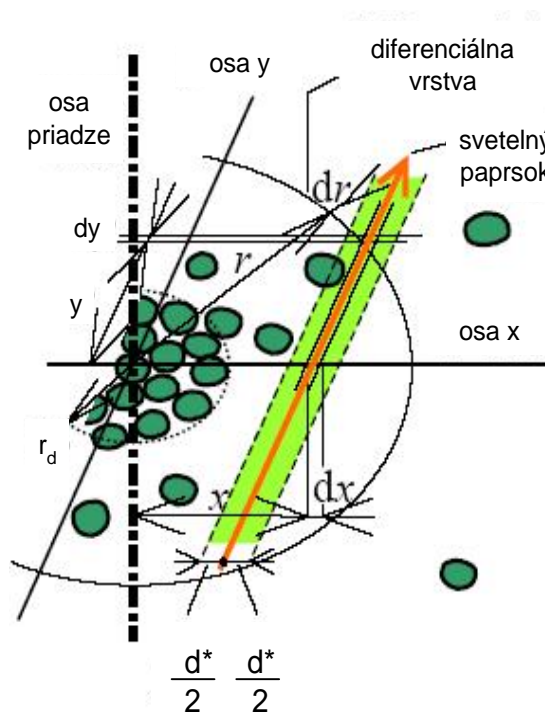
Predpoklady: 1) V oblasti chlpatosti sa súčasne vyskytuje  $N$  vzájomne

nezávislých typov chlpatosti. Tie sú označené poradovými číslami ( $i = 1, 2, \dots, N$ ).

2) Jedno vlákno sa v celej svojej dĺžke riadi zákonitostami iba jedného (obecne  $i$ -tého) typu chlpatosti.

3) Každý typ chlpatosti sa riadi exponenciálnym modelom.

4) Všetky typy chlpatosti majú smerové rozloženie vlákien rovnaké [9].



Obr. č. 6: Pohľad na polovicu priečneho rezu priadze [9]

Ak osvetlíme priadzu v oblasti chlpatosti zväzkom rovnobežných paprskov, kolmých k ose priadze, tak určitá časť z nich prejde medzerami medzi vláknami bez toho, aby boli hmotou vlákien pohltené. Čím väčšia je vzdialenosť svetelných paprskov od osy priadze, tým menšia je pravdepodobnosť, že paprsek narazí na vlákno a bude pohltý a tým väčšia je pravdepodobnosť, že prejde.

Pravdepodobnosť  $P$ , že paprsek prejde vo vzdialenosti  $x$  od osy náhodne vybraného miesta priadze vyjadruje súčasne relatívnu četnosť tých paprskov, ktoré prešli vo vzdialenosti  $x$  od (všetkých miest) priadze. Tiež sa dá povedať, že pravdepodobnosť  $P$  vyjadruje množstvo svetla, ktoré prejde vo vzdialenosti  $x$ . Táto veličina je nazvaná **prieľadnosť** a platí pre ňu  $P \in \langle 0,1 \rangle$  [10].

Doplnkom prieľadnosti je veličina nazvaná **sčernenie**  $Z$ , ktorá je definovaná výrazom:

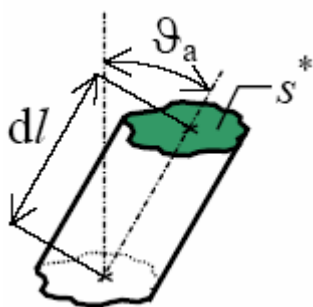
$$Z' = 1 - P \quad [8]. \quad (8)$$

Každá dielčia priehľadnosť  $P_i$  má význam pravdepodobnosti, že svetelný paprsok v mieste  $x$  prejde medzi vlákna  $i$ -tého typu chlpatosti. Ale lúč v danom mieste prejde skutočne iba vtedy, ak prejde súčasne medzi vláknami všetkých typov chlpatosti. Pravdepodobnosť tohto javu, tj. výsledná priehľadnosť  $P$ , je podľa pravidiel o násobení nezávislých pravdepodobností [9]:

$$P = P_1 P_2 \dots P_N = \prod_{i=1}^N P_i. \quad (9)$$

Teoretický model chlpatosti je podrobnejšie opísaný a odvodený v [9].

Na obr. č. 6 je znázornená polovica priečneho rezu priadze. (Zelené „ostrovčeky“ sú **rezné plošky** vlákien). Osa obecného vlákna zvierá so smerom osy priadze uhol  $J_a \geq 0$  (obr. č. 7).



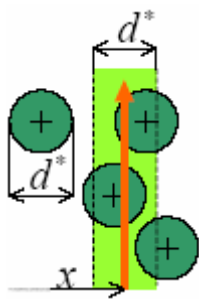
Rezná plocha takéhoto vlákna je  $s^* = \frac{s}{\cos J_a}$ . (10)

Obr. č. 7: Rezná plocha vlákna [17]

Osy vlákien, ktoré prechádzajú prierezom priadze na polomere  $r$ , majú rôzne uhly  $J_a$ . Rezné plochy vlákien na polomere  $r$  majú obecné rozmanité tvary aj veľkosti.

Pre modelové úvahy sa ale zavádzajú nasledujúce predpoklady:

1. Rezné plochy všetkých vlákien majú rovnakú veľkosť.
2. Rezné plochy všetkých vlákien majú tvar kruhu s priemerom  $d^*$  [9].



Obr. č. 8: Prechod svetelného paprsku medzi vláknami [17]

**Ekvivalentný priemer  $d^*$  myslenej plochy prierezu vlákna:**

Ekvivalentný priemer vlákna  $d$  je definovaný z plochy prierezu vlákna  $s$  vzťahom

$$s = pd^2/4 \quad , \quad d = \sqrt{4s/p} . \quad (11 \text{ a, b})$$

Z definície  $\overline{s^*} = p(d^*)^2/4$  platí:

$$d^* = \sqrt{4\overline{s^*}/p} = \sqrt{4s\overline{S}/p} = \sqrt{4s/p} \sqrt{\overline{S}} = d\sqrt{\overline{S}} . \quad (12)$$

*Zjednodušenie:* Každé vlákno v oblasti chlpatosti má kruhový tvar s priemerom  $d^*$ .

## 2.4 Vybrané metódy merania chlpatosti priadze

### Princípy merania chlpatosti:

Od roku 1953 bolo vyvinutých viac ako 70 metód na meranie chlpatosti. Jednotlivé metódy sa od seba odlišujú fyzikálnymi princípmi merania [8].

#### Ä Optické metódy:

1. priame optické metódy,
2. fotografické metódy,
3. metódy založené na snímaní priesečníkov obrazu priadze,
4. metódy založené na použití laserových paprskov,
5. metódy založené na obrazovej analýze.

#### Ä Fotoelektrické a im príbuzné metódy.

#### Ä Metódy založené na elektrickej vodivosti.

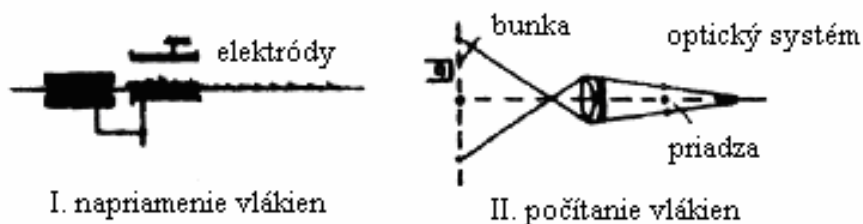
#### Ä Metódy založené na strate hmotnosti pri ožarovaní.

#### Ä Pneumatické metódy.

#### Ä Iné metódy.

### 2.4.1 Prístroj CRITTER - DAM II

Vystupujúce vlákna alebo voľne pohyblivé konce vlákien skúmanej priadze sú pomocou elektrostatického poľa napriamené a sú snímané fotoelektrickým prvkom, ktorý je umiestnený vo vzdialenosti 3 mm od osy priadze. Po zosilnení a modifikovaní impulzov dopadajúcich na bunku určuje toto zariadenie počet chlпов, ktorých dĺžka prekročila 3 mm v danej vzdialenosti od osy priadze [8].



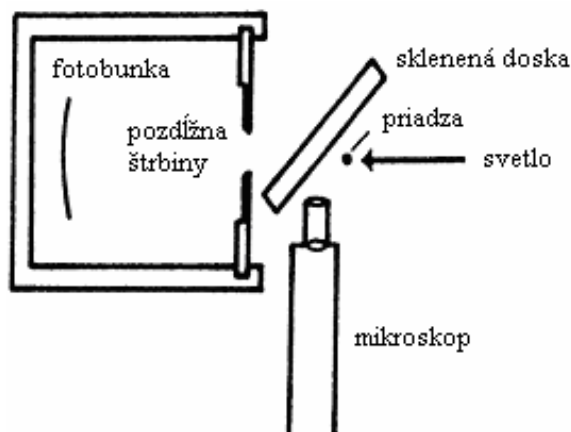
Obr. č. 9: Prístroj CRITTER – DAM II [8]



Podstatnou nevýhodou tejto metódy je, že sa počítajú iba vyčnievajúce konce vlákien, ktoré presahujú vzdialenosť 3 mm od osy priadze. Preto metóda poskytuje iba informácie o usporiadaní vlákien v priestoroch pomerne dosť vzdialených od povrchu priadze [8].

#### 2.4.2 Zariadenie založené na Chamberlainovom fotometrii

Zariadenie sa skladá z fotoelektrického článku vybaveného elektronickým zosilňovačom.



Obr. č. 10: Zariadenie založené na Chamberlainovom fotometrii [18]

Svetlo čiastočne prerušené skúmanou priadzou prechádza štrbinou širokou 12,7 mm a dopadá na katódu bunky. Naklonená sklenená doska medzi priadzou a štrbinou odchyľuje časť paprsku svetla do mikroskopu, ktorý premieta zväčšený obraz priadze na obrazovku, na ktorej je meraný priemer priadze. Dôležitým faktorom je šírka štrbiny (2x, 4x alebo 6x priemer priadze), ktorú je možné prostredníctvom vhodnej prepážky alebo súboru dosiek s paralelnou štrbinou známej šírky prispôsobiť pre rôzne priemery priadze [18].

### 2.4.3 Metóda „PONDERAL“

Metóda je založená na vážení vzorkov priadze pred a po opaľovaní. Úbytok hmotnosti je braný ako úbytok chlpatosti. Vlastné opaľovanie chlpatosti závisí na mnohých faktoroch, preto je veľmi ťažké robiť opaľovanie za stále rovnakých podmienok.

Konečné hodnotenie je založené na jednoduchých vizuálnych porovnávaníach s fotografickými štandardmi, kedy je priradzovaný index chlpatosti v intervale (0-7).

Táto metóda je veľmi subjektívna, pretože zhoda medzi pozorovateľmi a definíciami numerických parametrov je nedokonalá [8].

### 2.4.4 Zariadenie „Shirley Yarn Hairiness Meter“

Toto zariadenie je k dispozícii v troch formách:

- ▼ testovacie zariadenie pre trenie,
- ▼ zariadenie testujúce chlpatosť priadze,
- ▼ kombinované zariadenie testujúce trenie a chlpatosť priadze.

Prístroj využíva elektronickú a počítačovú techniku k riadeniu operácií a k rozborom dat [8].

Zobrazené výsledky zahŕňujú maximálnu a minimálnu hodnotu, priemerné hodnoty, smerodajnú odchylku a variačný koeficient. Výsledky sú poskytované v reálnom čase ako grafické záznamy alebo distribučné stĺpcové diagramy.

Na tomto prístroji je možné analyzovať priadzu dĺžky od 10 do 10 000 m a to rýchlosťou 50 až 300 m/min. Štatistické výsledky sú vytvárané na konci každého testovaného súboru. Je možné test opakovať s rovnakými parametrami, alebo sa môžu zmeniť vstupné údaje.

Nevýhodou tohto prístroja je, že poskytuje iba experimentálne údaje a na ich základe aj určité štrukturálne predstavy o usporiadaní vlákien v priestoroch pomerne dosť vzdialených od povrchu priadze [19].

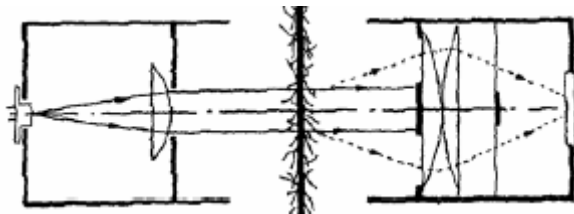
#### 2.4.5 Zariadenie Zweigle G656 hairiness tester

Zariadenie pracuje na princípe vyhodnocovania zmeny prietoku snímaného svetla. Vlákna, ktoré prechádzajú meracím prístrojom, prerušujú tok svetla a vyvolávajú tak premenlivú odozvu na sérii fototranzistorov. Toto umožňuje určiť počet chlpcov a rozdeliť ich podľa dĺžky do 12 tried.

Dĺžka vlákien sa meria smerom od povrchu priadze. Zobrazenie sa robí diferenčnou metódou: vlákna registrované v určite dĺžkovej triede  $N_i$  sa odpočítajú od vlákien registrovaných v nižšej triede  $N_{i-1}$ . Toto sa robí pre každú triedu. V jednej dĺžkovej triede sú tak počítané iba tie vlákna, ktoré tejto dĺžke naozaj odpovedajú [20].

#### 2.4.6 Meranie chlpatosti na zariadení USTER – TESTER

Metóda merania je založená na fotometrickom princípe. Meranie chlpatosti spočíva v presvecovaní priadze monochromatickým infračerveným žiarením, aby sa eliminoval vplyv farby priadze. Textilné farbivá sa v infračervenom svetle javia ako žiarivo farebné. Zdroj svetla produkuje žiarenie, ktorého prúd je rozptýlený odstavajúcimi vláknami na priadzi a následne zachytávaný senzormi. Priame paprsky sú pohltené pred dosiahnutím senzoru. Výsledný index chlpatosti označený ako  $H$ , je úhrnná dĺžka všetkých vlákien, ktoré sú merané na dĺžke 1 cm priadze. Tieto vlákna sú merané iba do vzdialenosti 1 cm od povrchu priadze. Okrem chlpatosti  $H$  je možné merať ešte smerodajnú odchylku chlpatosti  $sh$  [18].



Obr. č. 11: Princíp merania chlpatosti na zariadení USTER – TESTER 4 [8]

### 3. Experimentálna časť

#### 3.1 Meranie chlpatosti pomocou obrazovej analýzy

Chlpatosť priadze je možné skúmať rôznymi metódami, ktoré sa líšia v princípe merania, aj v spôsobe ich vyhodnocovania [5].

Špeciálne postupy, vypracované na meranie chlpatosti, sú obvykle založené na princípe zisťovania počtu vlákien, ktoré prechádzajú miestami vzdialenými niekoľko desiatín milimetrov od povrchu priadze. Väčšina komerčne vyrábaných prístrojov na meranie chlpatosti, ako je napr. „Shirley Yarn Hairiness Meter“, poskytuje iba experimentálne údaje a na ich základe aj určité štrukturálne predstavy o usporiadaní vlákien v priestoroch pomerne dosť vzdialených od povrchu priadze. Najmenej preskúmané zostávajú oblasti vzdialené asi 0,05 až 0,4 mm od povrchu priadze.

Chlpatosť priadze v tejto oblasti je pomerne dobre charakterizovaná výsledkami z experimentálnych meraní pomocou obrazovej analýzy [3].

##### 3.1.1 Princíp merania

Oblasť chlpatosti sa rozkladá na polomeroch  $r$  väčších ako je polomer priadze  $r_D$ . Vlastné meranie priehľadnosti spočíva v osvetlení priadze a následnej analýze jej obrazu. Vhodným nástrojom v súčasnosti je obrazová analýza, ktorá umožňuje nasnímať obraz (CCD kamerou) do počítača a špeciálnou softwarovou podporou ho vyhodnotiť. Z experimentálne určenej priehľadnosti  $P = P(x)$  a rovníc teoretického modelu je možné výpočtovými postupmi nájsť vhodné charakteristiky rozloženia vlákien v oblasti chlpatosti.

Rovnice teoretického modulu sú odvodené a podrobne opísané v [9].

##### 3.1.2 Metóda merania „priehľadnosti“ priadze systémom obrazovej analýzy Lucia

Na fakulte textilnej TU v Liberci bola vyvinutá nová metóda merania chlpatosti priadzi pomocou obrazovej analýzy. Môžeme ju zaradiť do metód optických, pracujúcich s kolmými priemetmi priadze [8].

Princíp merania chlpatosti staplovej priadze je založený na priechode svetelných paprskov oblasťou chlpatosti priadze. Používané prístrojové vybavenie na snímanie priadze pozostáva z optického mikroskopu so spodným osvetlením, ktorého súčasťou je CCD kamera napojená na PC so softwarovým systémom Lucia [10].



Obr. č. 12: Prístrojové vybavenie na snímanie chlpatosti priadze

Táto metóda je prevažne zameraná na preskúmanie oblasti blízkych priemerov priadzi, tj. vzdialenosti asi 0,05 až 0,4 mm od povrchu priadze. Umožňuje vzájomne odlíšiť dva typy chlpatosti a sledovať ich chovanie v závislosti na technológií výroby, materiálu a ďalších parametroch.

Výsledky namerané na obrazovej analýze je možné komparovať s hodnotami nameranými na prístroji Uster Tester 4 [8].

Pre zaistenie správnosti merania je dôležité správne nastaviť parametre kamery a digitalizačnej karty. Robí sa tiež kalibrácia svetlosti obrazu.

Doporučený postup nastavenia parametrov pre meranie je spracovaný v [8].

### 3.1.3 Nastavenie svetelných parametrov

Dôležitým krokom, pred zhotovením jednotlivých snímkov, je nastavenie množstva svetla dopadajúceho na jednotlivé body - „pixely“ obrazovky. Množstvo dopadajúceho svetla by malo byť také, aby obrys priadze bol dobre zreteľný a zároveň, aby jednotlivé odstavajúce vlákna neboli presvetlené [10].

Pri presvetlení objektu môžu zaniknúť niektoré vlákna tvoriace chlpatosť priadze a tá môže byť potom vyhodnotená ako nižšia, zatiaľ čo pri príliš nízkom osvetlení priadze môže dochádzať ku skresleniu výsledkov vplyvom nepresného obrysu priadze [5].

Aby nedochádzalo k presvecovaniu priadze, toho je možné objektívne dosiahnuť nastavením citlivosti jednotlivých pixelov [10].

### 3.1.4 Snímanie pozdĺžnych pohľadov priadze

Snímanie je prevádzané na ľubovoľných častiach priadze. Snahou je odtŕahovať vždy rôzne dlhé úseky, aby nedochádzalo ku skresleniu údajov možnými periodickými chybami. Pre zaistenie reprezentatívnych výsledkov sa vyhodnocuje vždy aspoň 800 snímkov z jednej priadze [3].



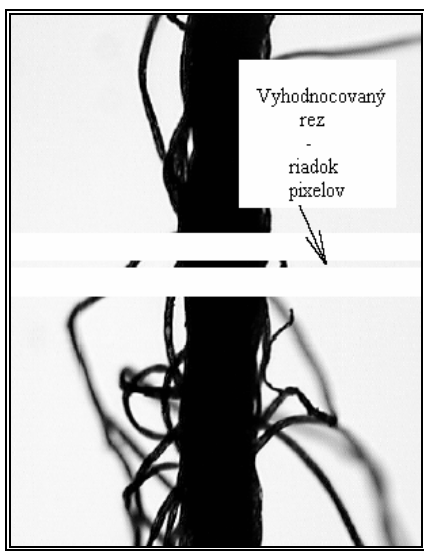
Obr. č. 13: Tieňový obraz priadze [17]

Priadza je pod mikroskopom osvetlená zospodu homogénnou žiarovkou. Jej obraz je snímaný CCD kamerou a je zobrazený na monitore počítača. Tak dostávame tieňový čiernobiely obraz priadze (viz. obr. č. 13). Jednotlivé obrazy sú snímané pomocou systému Lucia a nahrávané do pamäte počítača. Obrazové okno Lucia na monitore počítača odpovedá zornému poľu mikroskopu [10].

Pri snímaní je tiež nutné každý obrázok na mikroskope jemne doostriť. Najostrejšou časťou obrazu by mala byť hrana tela priadze a nie jednotlivé chlpy.

### 3.1.5 Prvotné spracovanie obrazu

Princíp výpočtového spracovania obrazu spočíva v zavedení mysleného rezu kolmo k ose priadze a jeho vyhodnotení. Zvolený rez určuje riadok pixelov (obr. č. 14). Svetelná hodnota každého pixelu v riadku reprezentuje „svetlosť“ obrazu priadze v danom mieste. Hodnota svetlosti sa pohybuje v rozmedzí od 0 do 255, pričom 0 odpovedá čiernej a 255 odpovedá bielej farbe. Svetlosť pixelu, ktorá sa blíži k čiernej značí, že sa v mieste nachádza vlákno a naopak, ak sa blíži svetlosť pixelov k bielej, znamená to, že priechodu svetelného paprsku nebráni žiadny materiál [10].



Obr. č. 14: Myslený rez priadzou [8]

Pre posúdenie výskytu vlákien v reze sa prevádza svetlosť pixelov v riadku na binárnu hodnotu (0=čierna, 1=biela). Ak nedosiahne svetlosť pixelov stanovenú hodnotu, je pixel označený za čierny, v opačnom prípade je biely. V takto vytvorenom binárnom riadku je vyhľadávaná najdlhšia postupnosť po sebe idúcich čiernych pixelov. Tá je považovaná za telo priadze a pixel uprostred za bod osy priadze [10].

Riadky pixlov, získané zo všetkých (min. 800) obrazov meranej priadze sú „spriemerované“, tj. pre každú vzdialenosť od osy priadze sa zo všetkých vyhodnocovaných riadkov zisťuje aritmetický priemer z binárnych hodnôt pixlov, ktoré ležia vo vzdialenosti  $x$  od osy priadze. Výsledkom je priemerný binárny riadok, ktorého hodnoty vyjadrujú veličinu nazvanú **sčernenie**  $Z$ , alebo tiež funkciu chlpatosti [8].

Jednotlivé snímky ukladá systém obrazovej analýzy Lucia na pevný disk počítača. Snímky sú ďalej vyhodnocované. Postup je možné zhrnúť do nasledujúcich bodov:

1. *Načítanie snímkov priadze.*
2. *Prevedenie matice na binárnu – čiernobiely.*
3. *Prevedenie rezov – načítanie riadkov hodnôt svetlosti pixelov do jednorozmerovej matice.*
4. *Určenie osy priadze.*

Za bod osy priadze je určený stred najdlhšej čiernej oblasti, ktorá je považovaná za telo priadze. Kvôli eliminácii novej chyby vzniknutej leskom vlákien, alebo kvôli vláknam blízko priliehajúcim k telu priadze sú v binárnej matici „začernené“ všetky osamotené biele body, tj. biele body z oboch strán obklopené najmenej dvoma po sebe idúcimi čiernymi bodmi.
5. *Pričítanie binárnej matice do súčtovej matice.*

Kroky 1 - 5 je nutné urobiť pre všetky obrazy priadze a potom vyjadriť konečne priemerný binárny riadok, ktorý odpovedá priebehu prieťahlosti  $P$ . Pre názornosť grafického zobrazenia experimentálnych výsledkov je tiež vytvorená matica hodnôt sčernenia  $Z = 1 - P$  [10].



### 3.1.6 Určenie priemeru priadze z pozdĺžnych pohľadov

Pre určenie priemeru priadze z pozdĺžnych pohľadov na priadzu existujú dve *empirické konvencie*. Priemer priadze je určený ako:

- priemer krycí  $D_K$  – dvojnásobok vzdialenosti od osy priadze, na ktorom je sčernenie  $Z = 50\%$ ,
- priemer hustotný  $D_H$  – dvojnásobok vzdialenosti od osy priadze, na ktorom je vypočítaná hodnota zaplnenia 0,11 tj. 11%.

Hodnoty krycieho priemeru sa líšia od hodnôt priemeru hustotného. Vhodnosť použitia jednotlivých priemerov závisí na účele použitia.

### 3.1.7 Určenie parametrov teoretického modulu chlpatosti

Konečným výsledkom prvotného spracovania dat je sčernenie  $Z$  ako funkcia vzdialenosti  $x$ ,  $Z = Z(x)$ . Priehľadnosť je  $P = 1 - Z(x)$ .

Záporný logaritmus priehľadnosti je  $-\ln P = -\ln [1 - Z(x)]$ . (13)

Priebeh priehľadnosti sa dá vyjadriť modelom dvoch typov chlpatosti.

$$\begin{aligned}
 -\ln P = & \frac{8h_1C_1}{p(d^*)^2 \ln 2} \left[ \int_0^{p/2} 2 \frac{x-d^*/2}{h_1 \cos a} da - \int_0^{p/2} 2 \frac{x+d^*/2}{h_1 \cos a} da \right] + \\
 & + \frac{8h_2C_2}{p(d^*)^2 \ln 2} \left[ \int_0^{p/2} 2 \frac{x-d^*/2}{h_2 \cos a} da - \int_0^{p/2} 2 \frac{x+d^*/2}{h_2 \cos a} da \right]
 \end{aligned} \quad (14)$$

Výraz (14) je odvodený a bližšie popísaný v [10].

Zavedené značenie:

$$y = -\ln P \quad (15a)$$

$$q_1 = \frac{8h_1C_1}{p(d^*)^2 \ln 2} \quad z_1(x) = \left[ \int_0^{p/2} 2 \frac{x-d^*/2}{h_1 \cos a} da - \int_0^{p/2} 2 \frac{x+d^*/2}{h_1 \cos a} da \right] \quad (15b, c)$$

$$q_2 = \frac{8h_2C_2}{p(d^*)^2 \ln 2} \quad z_2(x) = \left[ \int_0^{p/2} 2^{-\frac{x-d^*/2}{h_2 \cos a}} da - \int_0^{p/2} 2^{-\frac{x+d^*/2}{h_2 \cos a}} da \right] \quad (15d, e)$$

Potom sa dá vzťah (14) zapísať:

$$y = q_1 z_1(x) + q_2 z_2(x). \quad (16)$$

Vo výraze (16) sú obsiahnuté parametre  $q_1$ ,  $q_2$  a tiež parametre  $h_1$ ,  $h_2$ , ktoré sú súčasťou  $z_1(x)$ ,  $z_2(x)$  – vzorec (15c, e). Hodnoty  $q_1$ ,  $q_2$  sa dajú určiť z lineárnej regrese. Ak je

$$A = \sum_{j=1}^M [z_1^2(x_j)], \quad B = \sum_{j=1}^M [z_1(x_j)z_2(x_j)], \quad C = \sum_{j=1}^M [y_j z_1(x_j)], \quad D = \sum_{j=1}^M [z_2^2(x_j)],$$

$$E = \sum_{j=1}^M y_j z_2(x_j), \quad (17a, b, c, d, e)$$

platí:

$$q_1 = \frac{CD - BE}{AD - B^2}, \quad q_2 = \frac{AE - BC}{AD - B^2}. \quad (18a, b)$$

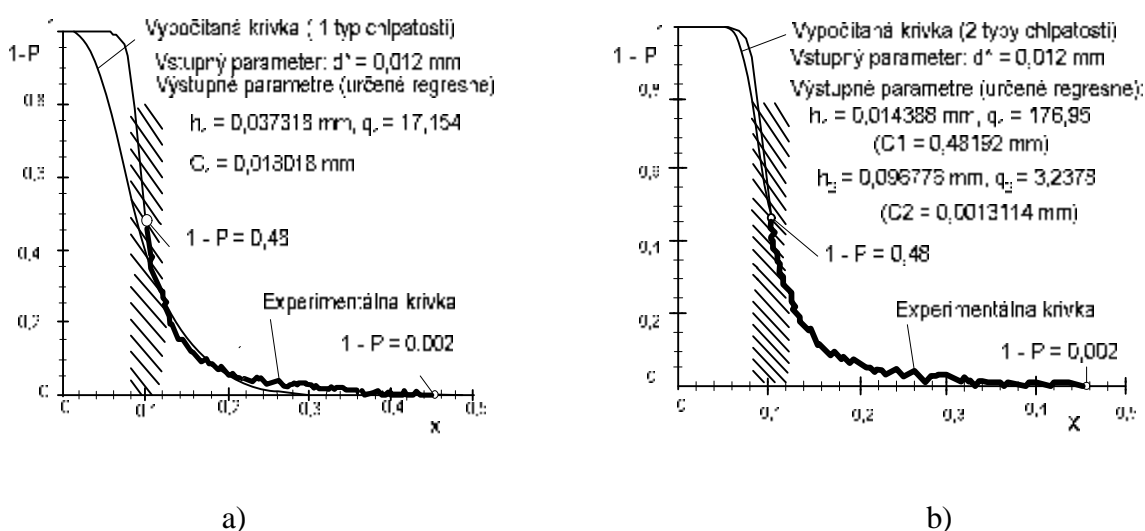
Hodnoty  $h_1$ ,  $h_2$ , je však potrebné vyhľadať metódami numerickej optimalizácie.

Ak je oblasť chlpatosti tvorená iba jedným typom chlpatosti, numericky sa hľadá iba parameter  $h_1$  a z lineárnej regrese  $q_1 = C / A$ .

### 3.1.8 Grafické vyjadrenie chlpatosti

Charakteristický príklad výsledkov ilustrujú grafy na obr. č. 15, získané pre bavlnenú priadzu mykanú (jemnosť 20 tex, koeficient zákrutu  $\alpha = 65 \text{ m}^{-1} \text{ktex}^{2/3}$ ).

Obrazová analýza poskytuje výsledky merania chlpatosti formou experimentálnej krivky sčernenia  $Z = 1 - P$  v závislosti na vzdialenosti od osy priadze. Z krivky chlpatosti je možné odčítať polomery priadze. Polomer priadze  $r_D$  leží niekde vo vyšrafovanom rozmedzí. Pri ďalšom spracovaní pomocou teoretického modelu chlpatosti je možné odlíšiť dva typy chlpatosti [10].



Obr. č. 15: Experimentálne krivky [21]

Pravidlami pre oblasť chlpatosti sa riadi iba priestor, kde  $x > r_D$ . Vo vnútornej oblasti priadze, kde  $x < r_D$ , odvodený model chlpatosti neplatí [10].

Pre vyhodnotenie chlpatosti popisovanou metódou boli prijaté určité *empirické konvencie*:

1. Polomer priadze  $r_D$  leží v miestach, kde sčernenie  $Z = 1 - P = 0,5$ .  
Do vyhodnotenia boli zahrnuté iba body s nižšou hodnotou sčernenia. Na veľkých vzdialenostiach  $x$  experimentálne nachádzame iba nepatrné hodnoty sčernenia.
2. Ak majú 3 po sebe idúce body experimentálnej krivky hodnotu  $Z = 1 - P < 0,005$ , ďalšie body sa už nevyhodnocujú.

Úsek experimentálnej krivky zahrnutý do vyhodnocovania je na grafoch obr. č. 15 vyznačený silno.

Experimentálnymi hodnotami boli preložené modelové závislosti. Krivka, ktorá odpovedá modelu s jedným typom chlpatosti je na obrázku č. 15a). Z grafu je zrejmé, že sa táto krivka príliš nezhoduje s experimentálnou krivkou. Na obr. č. 15b) je znázornená krivka odpovedajúca modelu s dvoma typmi chlpatosti. Z tohto grafu je zrejmé, že zhoda vypočítanej a nameranej závislosti v oblasti chlpatosti je tu veľmi dobrá.

Je charakteristické, že obidva typy chlpatosti sa od seba vzájomne odlišujú. Typ chlpatosti, ktorý je označený indexom 1 s rastúcou vzdialenosťou pomerne rýchlo klesá ( $h_1$  je pomerne malé), zatiaľ čo typ 2 klesá podstatne pomalšie ( $h_2$  je väčšie).

Z predchádzajúcich poznatkov sa dá usúdiť, že 1. typ chlpatosti je dominantný v blízkom okolí polomeru priadze a 2. typ chlpatosti nabera na význame až vo veľkých vzdialenostiach od osy priadze [10].

## 3.2 Vlastný experiment

### 3.2.1 Experimentálny materiál

K experimentálnemu meraniu boli v tejto práci použité rotorové priadze jednoduché, nepresúkané, vyrobené zo 100% CO. Technické parametre dané výrobcom a niektoré vlastnosti priadzi sú uvedené v tabuľke č. 1.

Technológia	otáčky [ot/min]	materiál	T [tex]	$\alpha$ [m <sup>-1</sup> ktex <sup>2/3</sup> ]
BD	60 000	100%CO	14,5	70
BD	60 000	100%CO	14,5	85
BD	60 000	100%CO	14,5	100
BD	60 000	100%CO	20	70
BD	60 000	100%CO	20	85
BD	60 000	100%CO	20	100
BD	60 000	100%CO	35,5	70
BD	60 000	100%CO	35,5	85
BD	60 000	100%CO	35,5	100
BD	60 000	100%CO	50	70
BD	60 000	100%CO	50	85
BD	60 000	100%CO	50	100
BD	60 000	100%CO	72	70
BD	60 000	100%CO	72	85
BD	60 000	100%CO	72	100

Tab. č. 1: Technické parametre a vlastnosti použitých priadzí

### 3.2.2 Postup nastavenia parametrov pre meranie

Experimentálnymi metódami bolo zistené optimálne nastavenie parametrov pre meranie chlpatosti.

Ide predovšetkým o optimálne nastavenie prechádzajúceho svetla. Množstvo dopadajúceho svetla by malo byť také, aby bol obrys priadze dobre zreteľný a zároveň, aby jednotlivé odstávajúce vlákna neboli presvetlené. Intenzita svetla osvetľujúca preparát je pri stále rovnakej hodnote citlivosti zvyšovaná až dovtedy, kedy je obrazovka absolútne čistá bez jednotlivých tmavších bodov. Intenzita svetla má byť o málo vyššia, ako je intenzita svetla, kedy sa na obrazovke objavujú ešte nejaké body.

Optimálne množstvo prechádzajúceho svetla zabezpečuje, že snímaná priadza je osvetlená, ale body, ktoré nie sú súčasťou priadze sú presvetlené. Pri nesprávnom nastavení intenzity svetla by mohli byť body nevytvárajúce priadzu považované za jej súčasť a boli by zahrnuté do vyhodnocovania. Výsledky by tak boli skreslené a chlpatosť priadze by bola vyhodnotená nesprávne.

Hodnoty optimálneho nastavenia parametrov pre meranie sú uvedené v [8].

### 3.2.3 Úprava súboru obrazov pred spracovaním

Ako bolo spomenuté v podkapitole **3.1.4. Snímanie pozdĺžnych pohľadov priadze** pre každú z 15 priadzí sa doporučuje nasnímať 800 obrázkov.

Ďalšími dôležitými krokmi je:

- Ø *vytriediť všetky nekvalitné obrázky*, tj. obrázky nedoostrené, alebo obrazy nasnímané pri pohybe priadze,
- Ø *konvertovať súbory z formátu **lim** na **tiff***.

S limovými súbormi dokáže pracovať iba obrazová analýza. Aby bolo možné pracovať so súbormi v iných programoch potrebných na vyhodnocovanie chlpatosti priadze, bolo potrebné tieto súbory konvertovať.

### 3.2.4 Postup spracovania súboru obrazov

K spracovaniu súboru obrazov bol použitý program „Priemer M“ v Matlabe, ktorý pracuje v krokoch (boli spomenuté v podkapitole **3.1.5. Prvotné spracovanie obrazu**). Výstupom spracovania súboru obrazov je priemerný riadok sčernenia v závislosti na vzdialenosti od osy priadze, tzv. experimentálna krivka chlpatosti.

### 3.2.5 Výpočet parametrov teoretického modelu chlpatosti

K spracovaniu bol použitý program „Chlpatosti-1“ spracovaný v jazyku Turbo Pascal, ktorý umožňuje experimentálnymi bodmi preložiť teoretickú krivku pre 2 typy chlpatosti a regresne metódou numerickej optimalizácie určiť parametre [11].

V jednotlivých častiach ponuky je potrebné vložiť **počiatočné** odhady hodnôt  $d^*$ ,  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $q_1$ ,  $q_2$ .

#### Počiatočné odhady hodnôt:

- Korigovaný priemer vlákna..... $d^*$  [mm] = 0.012
- Počiatočná hodnota..... $h_1$  [mm] = 0.01
- Počiatočný multiplikačný krok..... $q_1$  = 1.5
- Počiatočná hodnota.....  $h_2$  [mm] = 0.1
- Počiatočný multiplikačný krok..... $q_2$  = 1.5
- Počet „dvojkrokov“ integrácie (Simpson)... $n$  = 30

### 3.2.6 Výpočet priemeru priadze a chlpatosti priadze

Z teoretickej krivky chlpatosti boli napokon pomocou programu „Intchlup3“ vypočítané priemery priadzí. Integrovaním teoretickej krivky v oblasti chlpatosti bola spočítaná celková chlpatosť priadze od oboch priemerov a tiež bola spočítaná plocha pod krivkou pre obidva typy chlpatosti [8].

### 3.3 Hodnotenie výsledkov

#### 3.3.1 Vyhodnotenie parametrov teoretického modelu chlpatosti

Z programu „Chlpatosť-1“ boli získané parametre  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $q_1$ ,  $q_2$ . Parametre  $q_1$  a  $q_2$  boli použité k výpočtu hodnôt zaplnenia  $\mu_1$  a  $\mu_2$ . Následne bola skúmaná závislosť hodnôt  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $\mu_1$  a  $\mu_2$  na jemnosti a zákrute priadze.

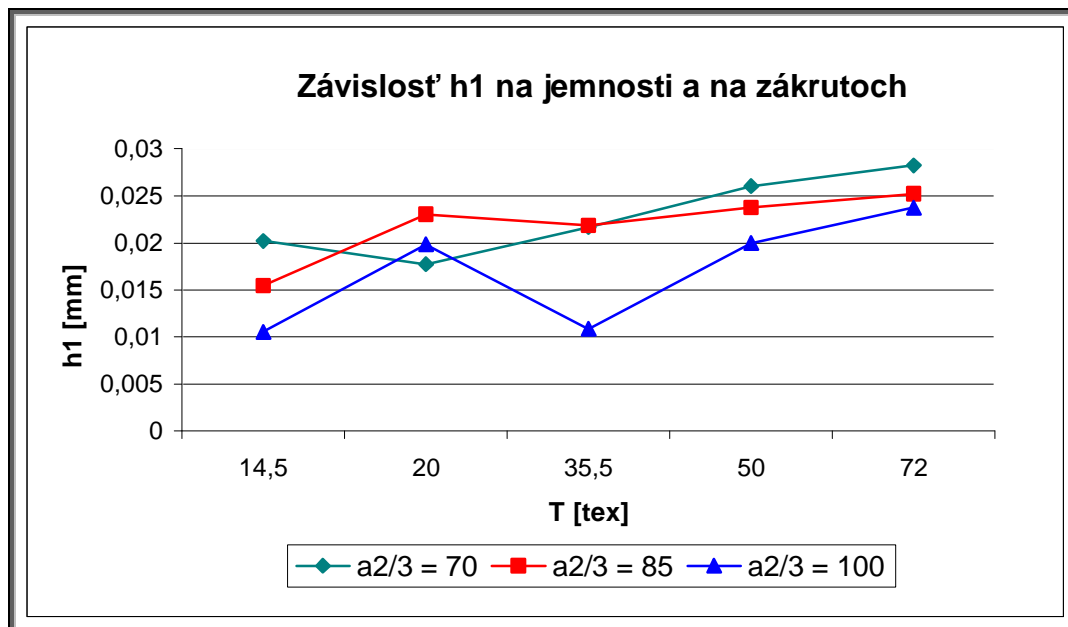
Ďalším dôležitým výstupom z programu boli empirické krivky sčernenia pre dva typy chlpatosti (viz prílohy).

$T[\text{tex}]/$ $\alpha[\text{m}^{-1}\text{ktex}^{2/3}]$	$h_1$ [mm]	$h_2$ [mm]	$\mu_1$ [mm]	$\mu_2$ [mm]
14,5 / 70	0,020240	0,075457	0.100734	0.009266
14,5 / 85	0,015457	0,062153	0.098134	0.011866
14,5 / 100	0,010541	0,043826	0.086702	0.023298
20 / 70	0,017735	0,063501	0.096303	0.013697
20 / 85	0,023033	0,091351	0.104798	0.005202
20 / 100	0,019856	0,071387	0.101214	0.008786
35,5 / 70	0,021702	0,061123	0.098617	0.011383
35,5 / 85	0,021872	0,070305	0.102496	0.007504
35,5 / 100	0,010856	0,037063	0.078588	0.031412
50 / 70	0,026028	0,094805	0.107329	0.002671
50 / 85	0,023745	0,063327	0.103380	0.006620
50 / 100	0,019976	0,055328	0.101345	0.008655
72 / 70	0,028242	0,132684	0.109151	0.000849
72 / 85	0,025202	0,129270	0.109015	0.000985
72 / 100	0,023772	0,082225	0.107620	0.002380

Tab. č. 2: Hodnoty získané z programu „Chlpatosť-1“



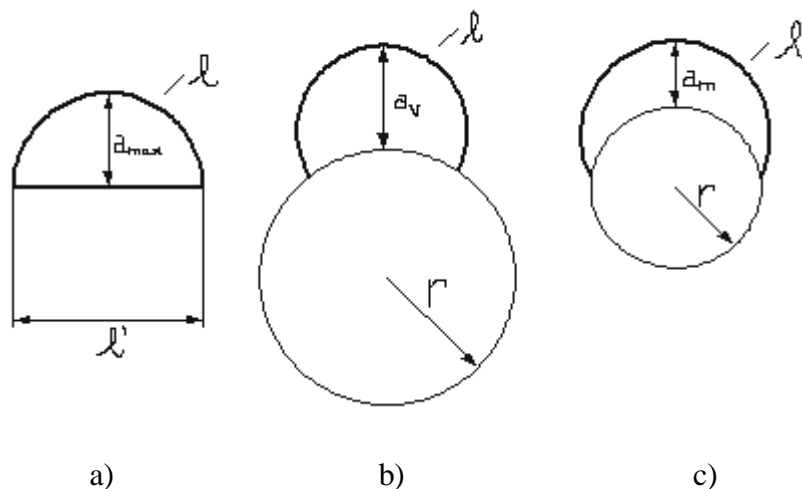
Graf č. 1:

**Diskusia:**

V grafe č. 1 je znázornená závislosť  $h_1$  na jemnosti a na zákrutoch. Z grafu je možné vypožorovať, že s rastúcim zákrutovým koeficientom prestáva byť parameter  $h_1$  citlivý na jemnosť. U priadzi s nízkym zákrutovým koeficientom sa jeho citlivosť na jemnosť zvyšuje.

Je teda možné povedať, že u jemnej priadze, v tomto prípade  $T = 14,5$  tex, sa so zmenou zákrutových koeficientov bude parameter  $h_1$  meniť výraznejšie ako pri hrubších priadzach, v tomto prípade  $T = 72$  tex. Pri hrubších priadzach sa so zmenou zákrutového koeficientu parameter  $h_1$  mení iba nepatrne.

Dôležité je tiež spomenúť mechanizmus, ktorý tieto javy ovplyvňuje. Odstávajúce vlákna a z tela priadze uvoľnené smyčky sa s rastúcim zákrutom viac k telu priadze primykajú, alebo sa do tela priadze zaťahujú. Tento efekt je výraznejší u hrubších priadzi. Najvýraznejšie je to u kratších odstávajúcich koncov a uvoľnených smyčiek hustej chlpatosti.



Obr. č. 16: Smyčky vlákien

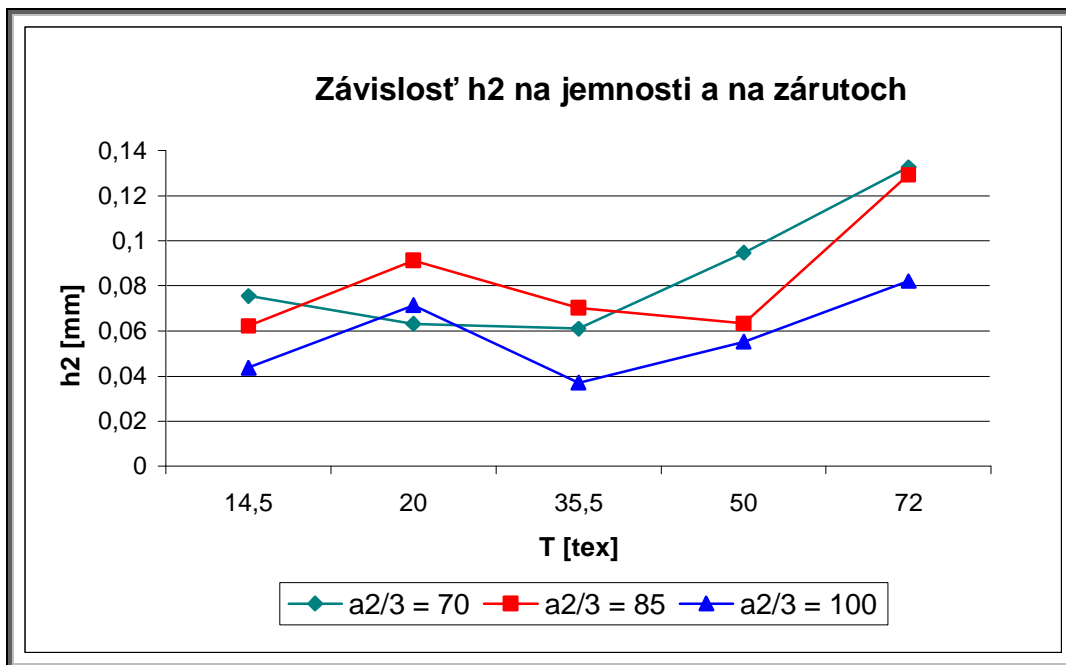
Na obr. č. 16 je vysvetlenie tohto javu. To spočíva v predstave uvolnenej smyčky s dĺžkou  $l$ .

Na obr. č. 16a) má smyčka tvar „luku“, ktorého „tetiva“ má dĺžku  $l'$ . Pritom platí:  $l > l'$ . V tomto prípade je vzdialenosť  $a$  medzi  $l$  a  $l'$  maximálna.

Keď navinieme smyčku na povrch priadze s veľkým polomerom  $r$ , ako je to vidieť na obr. č. 16b), „tetiva“ dĺžky  $l'$  prilieha k telu priadze. V dôsledku malého zakrivenia smyčka dĺžky  $l$  vyčnieva do priestoru v skoro rovnakej vzdialenosti, ako v narovnanom stave. Vzdialenosť  $a$  sa takmer nezmenila.

Vzdialenosť  $a$  bude minimálna v tom prípade, ak sa smyčka navinie rovnakým spôsobom okolo priadze s malým polomerom  $r$  (obr. č. 16c). Zakrivenie, ktoré bude „tetiva“ s dĺžkou  $l'$  kopírovať, bude veľké a smyčka s dĺžkou  $l$  sa bude k telu priadze viac primykať.

Graf č. 2:

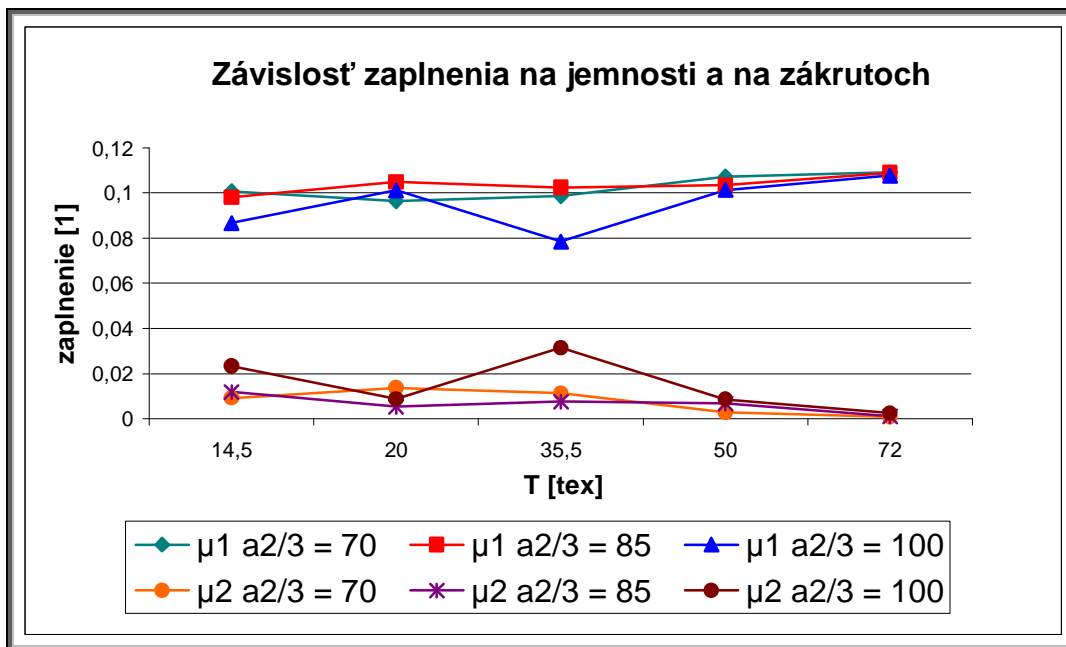
**Diskusia:**

Pre parameter  $h_2$  platí tiež závislosť na jemnosti a na zárutoch.

Platia tu rovnaké mechanizmy, ktoré ovplyvňujú veľkosť parametra, ale iba v obmedzenej miere. Je to z toho dôvodu, že parameter  $h_2$  zastupuje riedku chlpatosť, ktorá má u povrchu priadze iba malý počet odstávajúcich vlákien ale ich pokles smerom od tela priadze je malý, zatiaľ čo parameter  $h_1$  platí pre hustú chlpatosť, ktorá je u povrchu priadze zastúpená veľkým počtom vlákien a ich počet smerom do priestoru rýchlo klesá.

U parametra  $h_1$  sa efekt zaťahovania uplatňuje vo veľkej miere, u parametra  $h_2$  sa efekt zaťahovania toľko neprejavuje.

Graf č. 3:

**Diskusia:**

Ako z tabuľky č. 2, tak aj z grafu sa dá predpokladať, že začiatočná hodnota obidvoch typov chlpatosti nie je na jemnosti a na zákrutoch závislá. Platí  $\mu_1 + \mu_2 = 0,11$ . Zaplnenie  $\mu_1$  sa pohybuje stále okolo rovnakých hodnôt. To isté sa dá povedať aj o zaplnení  $\mu_2$ . Preto môžeme parametre  $\mu_1$  a  $\mu_2$  považovať za konštanty.

Riedka chlpatosť, ktorá je zastúpená parametrom  $\mu_2$  má u tela priadze iba veľmi nízky výskyt odstavajúcich vlákien a hustá chlpatosť zastúpená parametrom  $\mu_1$  má výskyt vlákien v tej istej oblasti veľký.

Vo výsledkoch parametrov teoretického modelu chlpatosti môžeme nájsť dôkaz o existencii dvoch typov chlpatosti, ktoré sa navzájom odlišujú. Každý typ má dva parametre:  $h$  a  $\mu$ . Ako bolo dokázané, hodnoty týchto parametrov sa odlišujú (tab. č. 2).

### 3.3.2 Vyhodnotenie priemeru priadze a porovnanie chlpatosti priadze s výsledkom

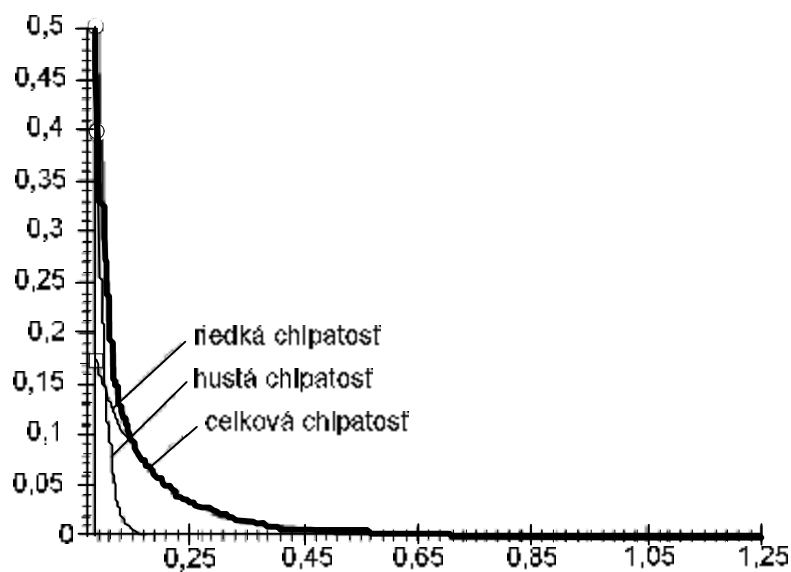
Z programu „Intchlup3“ boli zistené hodnoty  $D_{krycí}$ ,  $D_{hustotný}$ , hodnoty zaplnenia a sčernenie na krycom a hustotnom polomere. Tiež boli získané hodnoty integrálov krycieho a hustotného polomeru, ktoré boli porovnané s hodnotami získanými z prístroja Uster Tester 4.

			Krycí priemer priadze	Hustotný priemer priadze	Integrály KRYCIEHO priemeru	Integrály HUSTOT. priemeru	
T [tex]/ $\alpha$ [m <sup>-1</sup> ktex <sup>2/3</sup> ]	D <sub>krycí</sub> [mm]	D <sub>hustotný</sub> [mm]	celkové zaplnenie [1]	celkové sčernenie [mm]	celkové sčernenie [mm]	celkové sčernenie [mm]	H [-]
14,5 / 70	0,201194	0,158641	0,044339	0,766857	0,023566	0,037007	4,04
14,5 / 85	0,194613	0,163123	0,048944	0,738698	0,020827	0,030539	3,75
14,5 / 100	0,179353	0,157534	0,054386	0,702320	0,019356	0,025905	3,78
20 / 70	0,238726	0,193486	0,040917	0,791293	0,024217	0,038786	4,26
20 / 85	0,229851	0,177652	0,040227	0,797814	0,024017	0,040920	4,12
20 / 100	0,222111	0,177314	0,042612	0,782291	0,022826	0,037153	4,06
35,5 / 70	0,307089	0,242834	0,034201	0,846783	0,024480	0,046142	4,89
35,5 / 85	0,307656	0,245143	0,034724	0,845254	0,023980	0,045039	4,68
35,5 / 100	0,299649	0,260614	0,038623	0,803377	0,021265	0,033916	4,66
50 / 70	0,376175	0,295253	0,030239	0,885774	0,024896	0,053201	5,18
50 / 85	0,356105	0,283015	0,031799	0,872922	0,023470	0,048726	5,07
50 / 100	0,354584	0,293177	0,033746	0,859682	0,021496	0,042454	5,08
72 / 70	0,436040	0,342064	0,027546	0,909907	0,025128	0,058787	5,52
72 / 85	0,436521	0,353656	0,028898	0,902389	0,023492	0,052955	5,32
72 / 100	0,433767	0,355151	0,029407	0,898155	0,022514	0,050333	5,31

Tab. č. 3: Hodnoty získané z programu „Intchlup3“ a prístroja Uster Tester 4

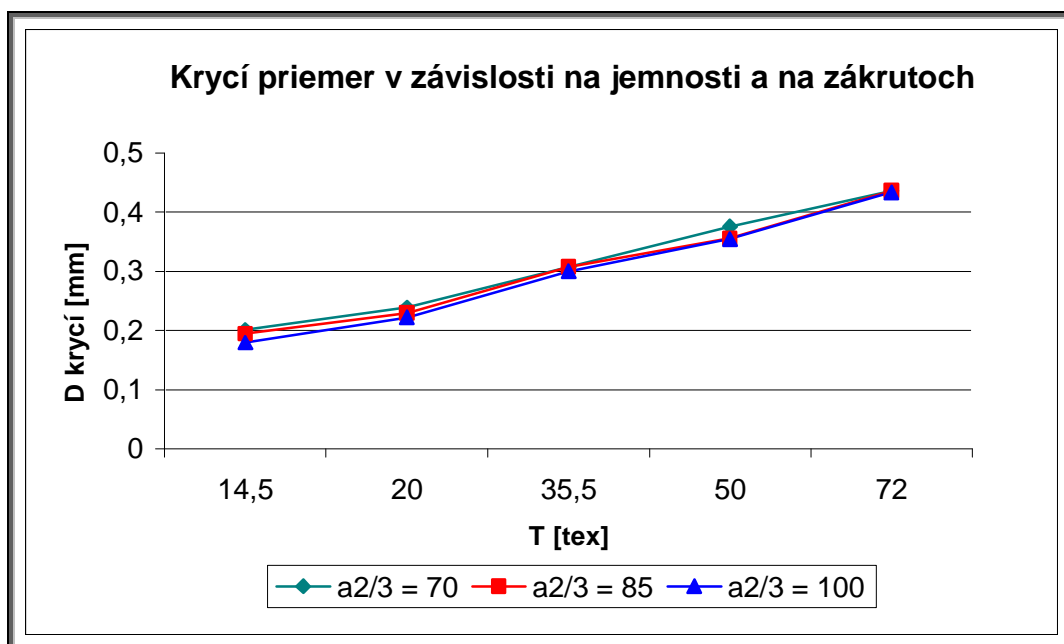
Integrálne krivky celkovej chlpatosti získané pri spracovaní obsahujú tiež integrálne krivky chlpatosti hustej aj riedkej. Priebehy týchto integrálnych kriviek sú k nahliadnutiu v prílohe.

Pre dobrú orientáciu v grafe pomôže obr. č. 17.

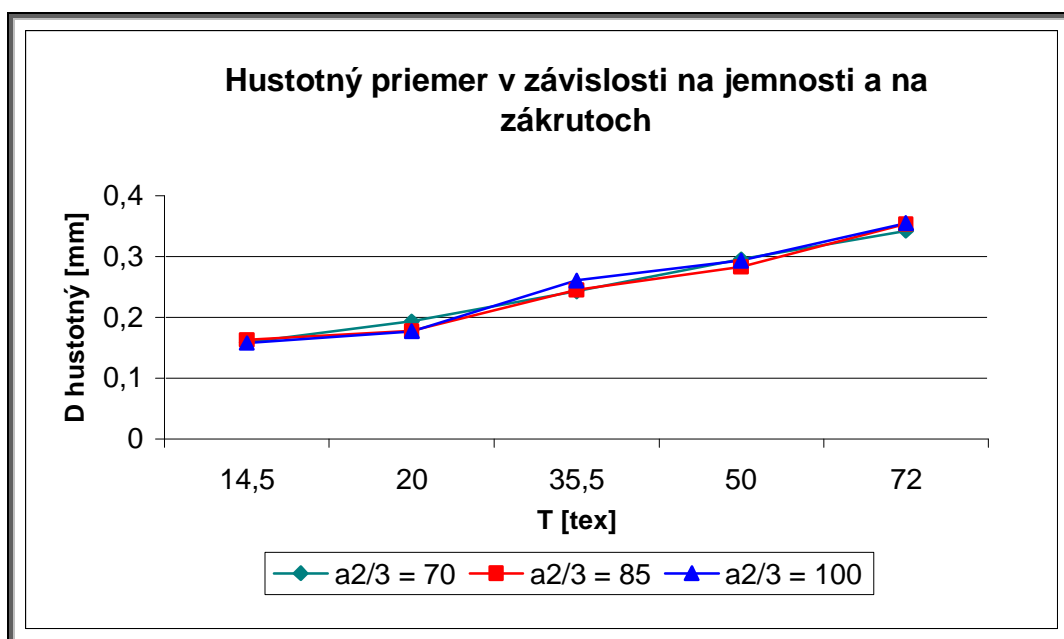


Obr. č. 17: Integrálne krivky chlpatosti [25]

Graf č. 4:

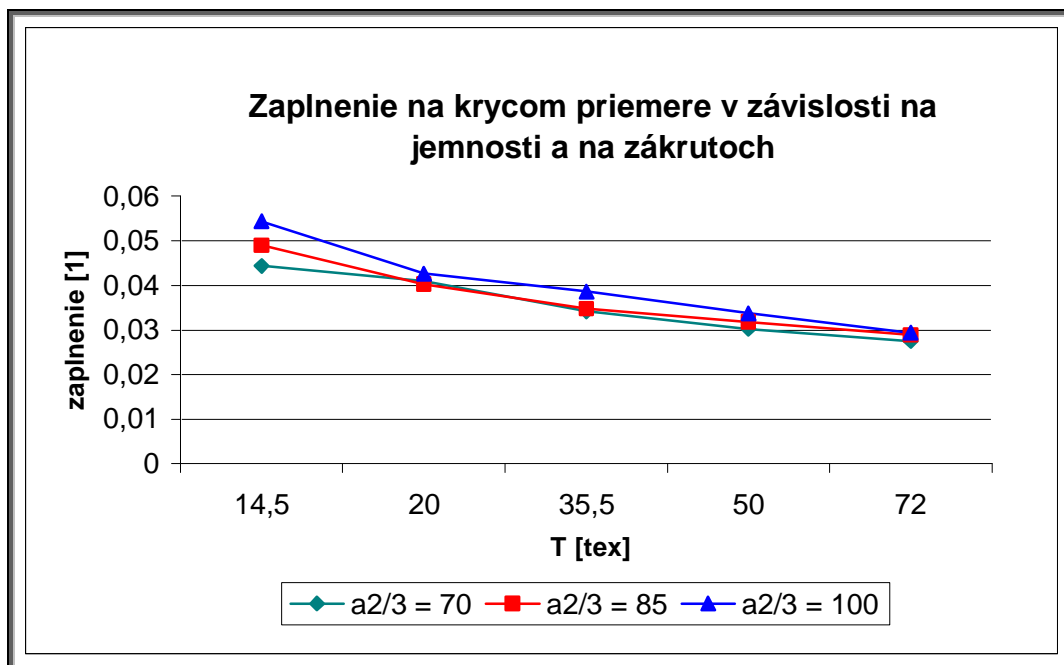


Graf č. 5:

**Diskusia:**

Z grafov č. 4 a č. 5 je možné vyčítať, že  $D_{krycí}$  vykazuje vyššie hodnoty ako  $D_{hustotný}$ . Hodnoty priemeru krycieho sa líšia od hodnôt priemeru hustotného. Vplyv jemnosti a zákrutu sa na obidvoch priemeroch prejavuje rovnako.

Graf č. 6:

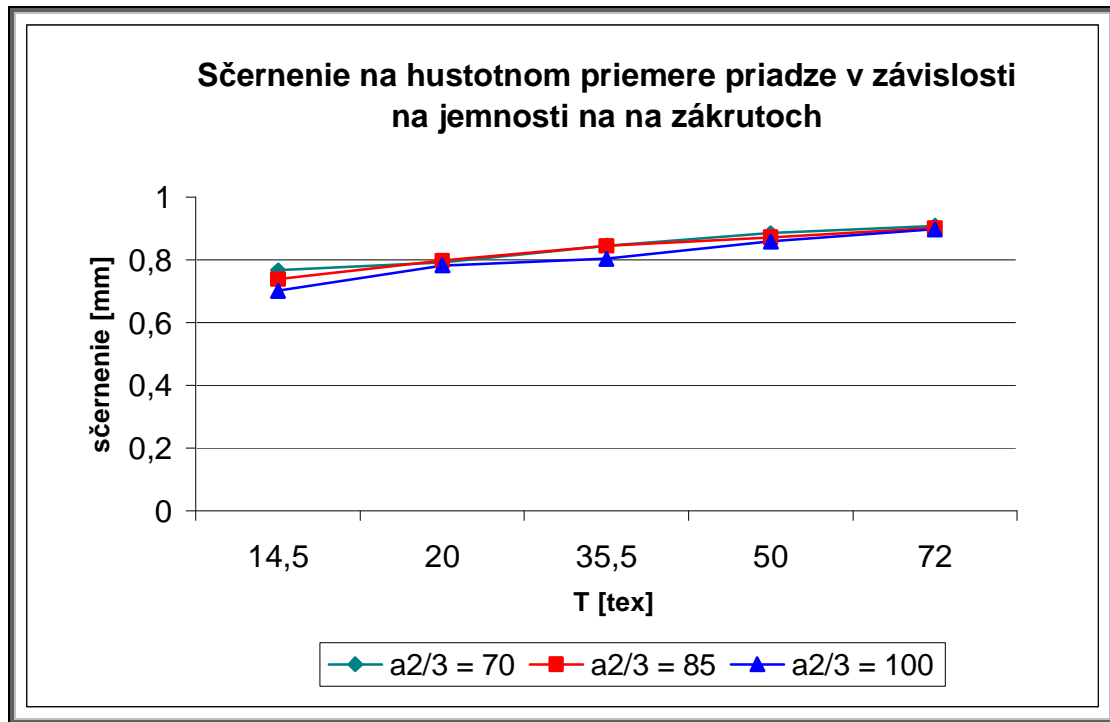
**Diskusia:**

Na grafe č. 6 je závislosť zaplnenia na jemnosti a na zákrute priadze.

V grafe zaplnenia je hodnota sčernenia stanovená na  $Z = 50\%$ . U priadzí s vyšším zákrutom sa hodnota  $Z = 50\%$  nachádza na vyšších hodnotách zaplnenia ako je tomu u priadzí s nižším počtom zákrutov. Z predstavy uvolnenej smyčky v podobe luku je jasné, že keď chceme dosiahnuť  $Z = 50\%$  u hrubých priadzí, musí sa zaplnenie merať na nižších hodnotách. U jemných priadzí sa hodnota  $Z = 50\%$  nachádza na vyšších hodnotách zaplnenia.



Graf č. 7:



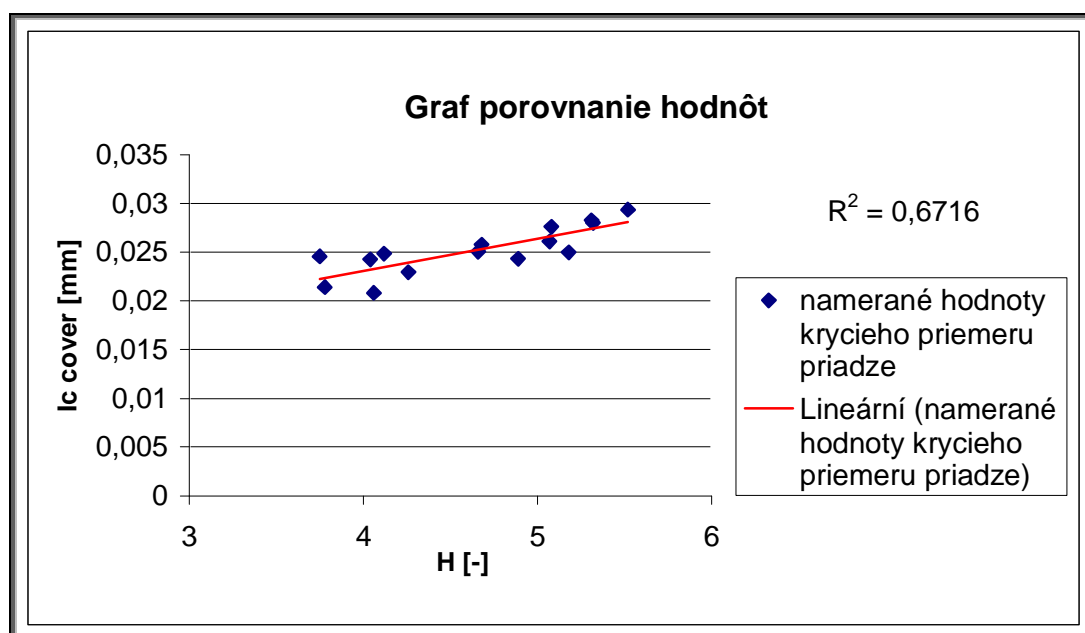
### Diskusia:

Na grafe č. 7 je vidieť závislosť sčernenia na jemnosti a zákrute priadze. Sčernenie rastie so zväčšujúcou sa jemnosťou.

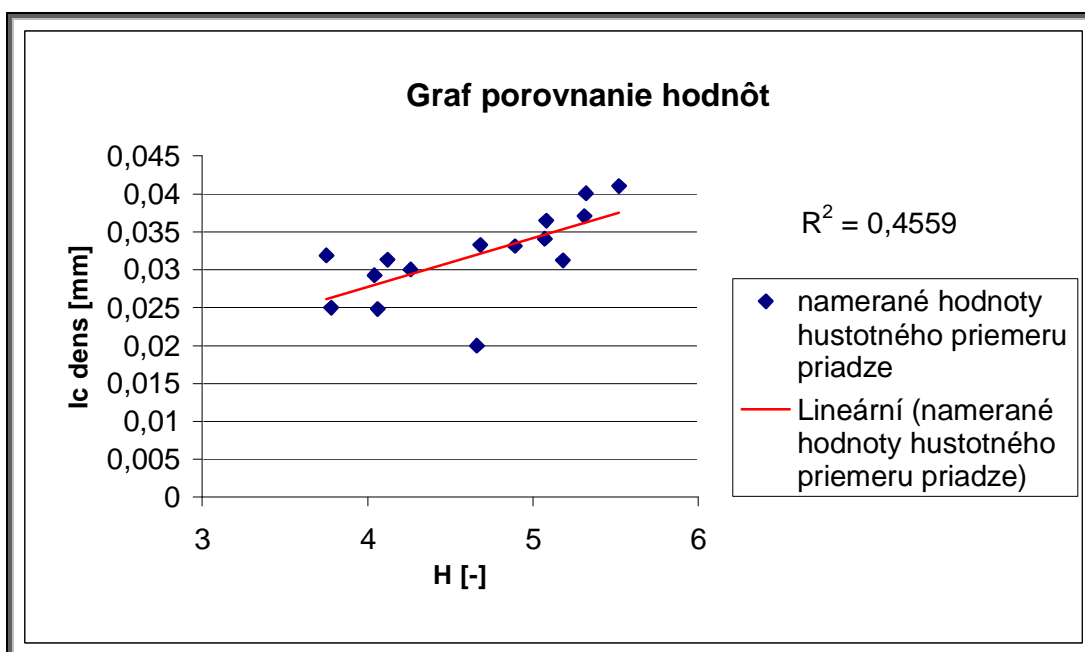
V tomto prípade je stanovená hodnota zaplnenia a to na hodnotu  $\mu = 0,11$ . Hodnota sčernenia je hodnota premenná.

Môžeme povedať, že u jemnej priadze, v tomto prípade  $T = 14,5$  tex, sa so zmenou zákrutu hodnota sčernenia mení viac ako u priadzí hrubších.

Graf č. 8: Lineárna regresia hodnôt integrálu krycieho priemeru priadze a nameraných na prístroji Uster Tester 4



Graf č. 9: Lineárna regresia hodnôt integrálov hustotného priemeru priadze a nameraných na prístroji Uster Tester 4



**Diskusia:**

Medzi hodnotami chlpatosti nameranými na prístroji Uster Tester 4 a obidvoma celkovými integrálnymi charakteristikami (hustotej aj krycej) sú lineárne závislosti.

Závislosť medzi hodnotami chlpatosti nameranými na prístroji Uster Tester 4 a celkovou hustotnou integrálnou charakteristikou bola potvrdená na 46%.

Hodnoty chlpatosti nameranými na prístroji Uster Tester 4 sú závislé na hodnotách celkovej krycej integrálnej charakteristiky na 67%.

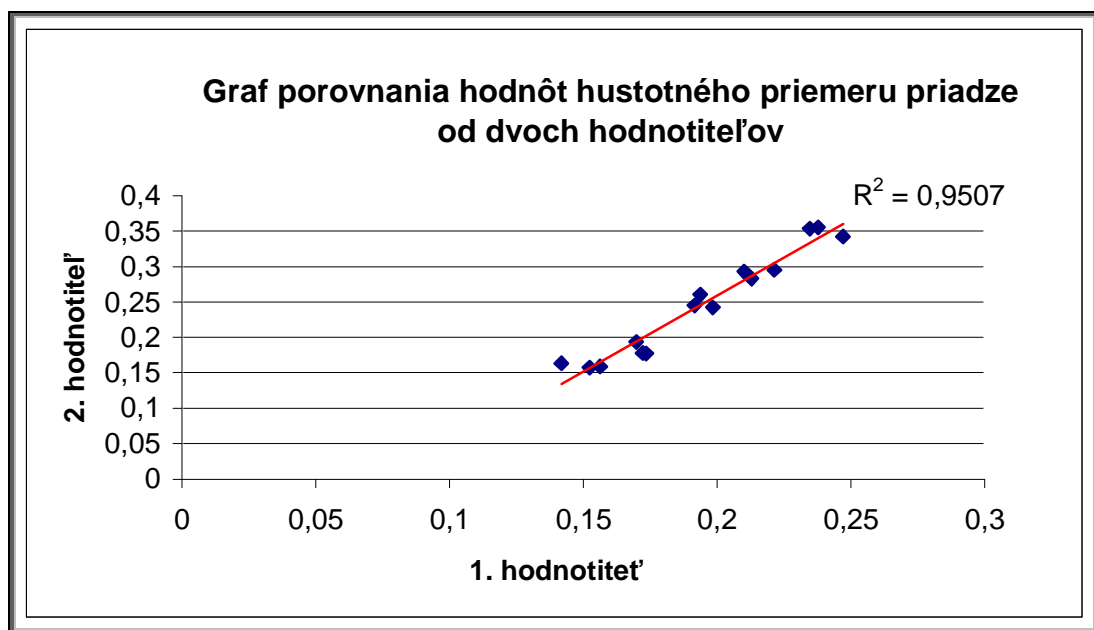
Ako je vidieť z grafov, silnejšia závislosť sa javí medzi hodnotami chlpatosti nameranými na prístroji Uster Tester 4 a celkovou krycou integrálnou charakteristikou  $I_{c \text{ dnes}}$ . Dôvodom je rovnaký princíp merania, zatiaľ čo hustotná integrálna charakteristika je nastavená podľa priemeru priadze, ktorý je nastavený teoreticky.

### 3.3.3 Porovnávanie výsledkov meranie od dvoch hodnotiteľov

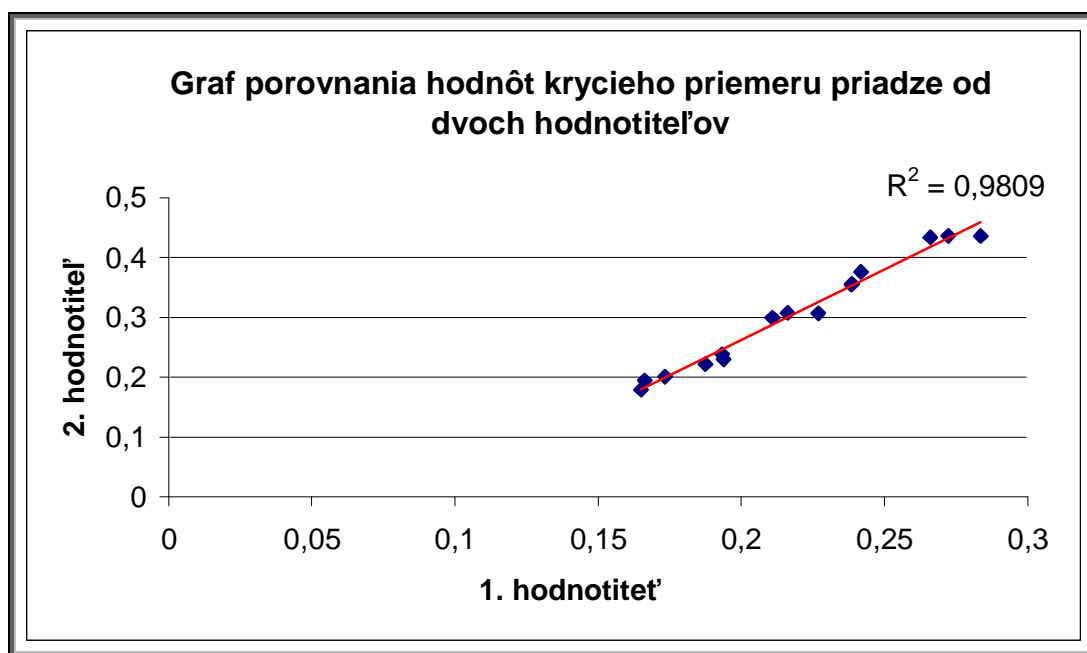
Merania boli prevedené dvomi rôznymi hodnotiteľmi. Na porovnávanie bol použitý test zhody priemerov priadze, test zhody rozptylov, test zhody priemerov pre rozdielne rozptyly a tiež test dobrej zhody rozdelenia.

Výsledky sú zreteľné z nasledujúcich grafov.

Obr. č. 10:



Obr. č. 11:



### Diskusia:

Grafy č. 10 a č. 11 sú grafmi porovnania hodnôt priemerov priadze od dvoch rôznych hodnotiteľov. Porovnávanie bolo prevádzané niekoľkými testmi.

**Test zhody priemerov** ukázal, že priemerné hodnoty hustotného aj krycieho priemeru priadze sú zhodné.

Ďalším testom bol **test zhody rozptylov**, ktorý potvrdil zhodné rozptyly u obidvoch priemerov priadze. Test **zhody priemerov pre rozdielne rozptyly** preukázal tiež zhodu.

Posledným testom bol **test dobrej zhody rozdelenia**, ktorého záverom bolo: Rozdelenia sú zhodné.

Testy u hustotného priemeru priadze preukázali zhodnosť na 95%. U krycieho priemeru priadze boli výsledky hodnotiteľov zhodné až na 98%.

## 4. Záver

Chlpatosť priadze je jednou z dôležitých vlastností priadze z hľadiska spracovateľského, aj z hľadiska úžitkových vlastností koncového produktu. Preto je dôležité vhodným spôsobom zaistiť jej meranie a vyhodnocovanie.

Parametre chlpatosti boli zmerané optickou metódou pomocou obrazovej analýzy, ktorá je zameraná prevažne na preskúmanie oblasti blízkych priemerov priadze, tj. vzdialenosti od 0,05 do 0,4 mm od povrchu priadze. Obrazová analýza poskytuje výsledky merania chlpatosti formou experimentálnej krivky relatívnej četnosti výskytu čiernych pixlov v závislosti na vzdialenosti od osy priadze.

Z krivky chlpatosti je možné odčítať polomeri priadze a pri ďalšom spracovaní pomocou teoretického modelu chlpatosti je možné odlíšiť dva typy chlpatosti – hustú a riedku.

Na základe experimentu boli zistené hodnoty parametrov modelu.

Porovnávacie meranie bolo prevedené na prístroji Uster Tester 4. Bolo overené, že výsledky z metódy merania pomocou obrazovej analýzy sú dobre porovnateľné s metódou merania na prístroji Uster Tester 4.

U parametrov  $h_1$  a  $h_2$  bola zistená závislosť na jemnosti a na zákrutoch. Bolo zistené, že so zvyšovaním zákrutového koeficientu prestávajú byť parametre  $h_1$  a  $h_2$  citlivé na jemnosť, u priadzí s nízkym zákrutovým koeficientom sa ich citlivosť na jemnosť zvyšuje. O hodnotách zaplnenia  $\mu_1$  a  $\mu_2$  sa dá povedať, že môžu byť v rámci technológie považované za konštantné.

Z výsledkov grafov je tiež patrné, že u priadzí s vyšším zákrutom sa stanovená hodnota sčernenia  $Z = 50\%$  nachádza na vyšších hodnotách zaplnenia ako je tomu u priadzí s nižším počtom zákrutov.

Boli prevedené porovnávacie testy hodnôt priemerov priadze od dvoch rôznych hodnotiteľov. Vybrané testy potvrdili medzi meraniami dvoch rôznych hodnotiteľov zhodu.

Na základe prevedených experimentov a hodnotenia môže byť pre ďalší výskum doporučené posúdiť vplyv jemnosti priadze, zákrutového koeficientu a technológie výroby na jednotlivé parametre chlpatosti a potvrdiť závery pre väčšiu databázu priadzí.

## 5. Zoznam použitej literatúry

- [1] NECKÁŘ, B.: *Morfologie a strukturní mechanika obecných vláknenných útvarů*, Technická univerzita v Liberci, Liberec, 1998.
- [2] NECKÁŘ, B.: *Příze. Tvorba, struktura, vlastnosti.*, SNTL, Praha, 1990.
- [3] VOBOROVÁ, J.: Diplomová práce „*Metoda měření chlupatosti příze*“, Technická univerzita v Liberci, Liberec, 2001.
- [4] NECKÁŘ, B.: *Teoretický model chlupatosti příze, metodika jeho využití a výpočetní program „Chlupatost-1“*, Interní výzkumná zpráva, Technická univerzita v Liberci, Liberec, 2001.
- [5] HRADILOVÁ, J.: Diplomová práce „*Chlupatost příze*“, Technická univerzita v Liberci, Liberec, 2004.
- [6] KŘEMENÁKOVÁ, D.: Interní norma č. 11-108-01/01 Definice. *Geometrické vlastnosti vláken*, Technická univerzita v Liberci, Liberec, 2002.
- [7] KŘEMENÁKOVÁ, D.: Interní norma č. 12-108-01/01 Definice. *Geometrické vlastnosti staplových přízí*, Technická univerzita v Liberci, Liberec, 2002.
- [8] VOBOROVÁ, J.: *Chlupatost a průměry přízí*. Souhrnná zpráva, Technická univerzita v Liberci, Liberec, 2002.
- [9] NECKÁŘ, B.: *Chlupatost příze, Část 1: Teoretický model chlupatosti*, Sborník 7. konference STRUTEX, Technická univerzita v Liberci, Liberec, 2000.
- [10] NECKÁŘ, B.: *Chlupatost příze, Část 2: Metodika vyhodnocování chlupatosti*, Sborník 7. konference STRUTEX, Technická univerzita v Liberci, Liberec, 2000.
- [11] VOBOROVÁ, J.: Interní norma č. 22-102-01/01 *Průměr a chlupatost příze*, Technická univerzita v Liberci, Liberec, 2004.
- [12] PILLER, B., LEVINSKÝ O.: *Encyklopedie textilních materiálů*, SNTL, Praha, 1982.
- [13] HLADÍK, V. A KOLEKTIV: *Textilní vlákna*, SNTL, Praha, 1970.
- [14] ČSN 80 0001.
- [15] URSÍNÝ, P.: *Předení 1.*, Technická univerzita v Liberci, Liberec, 2001.
- [16] KŘEMENÁKOVÁ, D.: *Systém projektování textilních struktur, Část 1: „vlákno - příze“*. Výzkumná zpráva, Technická univerzita v Liberci,

- Liberec, 2004.
- [17] NECKÁŘ, B.: *A stochastic model of yarn hairiness*, Technická univerzita v Liberci, Liberec, 2002.
- [18] HARRISON, P.W.: *Yarn hairiness*, A critical appreciation of recent developments by A. Barella, The Textile Institute, England, 1983.
- [19] *Shirley Developments Ltd. Catalogue*, 1997.
- [20] BARELLA, A., MANICH, A.M.: *Yarn Hairiness: A Further Update*, The Textile Institute, 2002.
- [21] VOBOROVÁ, J., NECKÁŘ, B.: *Chlupatost a průměry přízí – poznatky z měření*, sborník 8. konference STRUTEX, Technická univerzita v Liberci, Liberec, 2001.



## 6. Prílohy

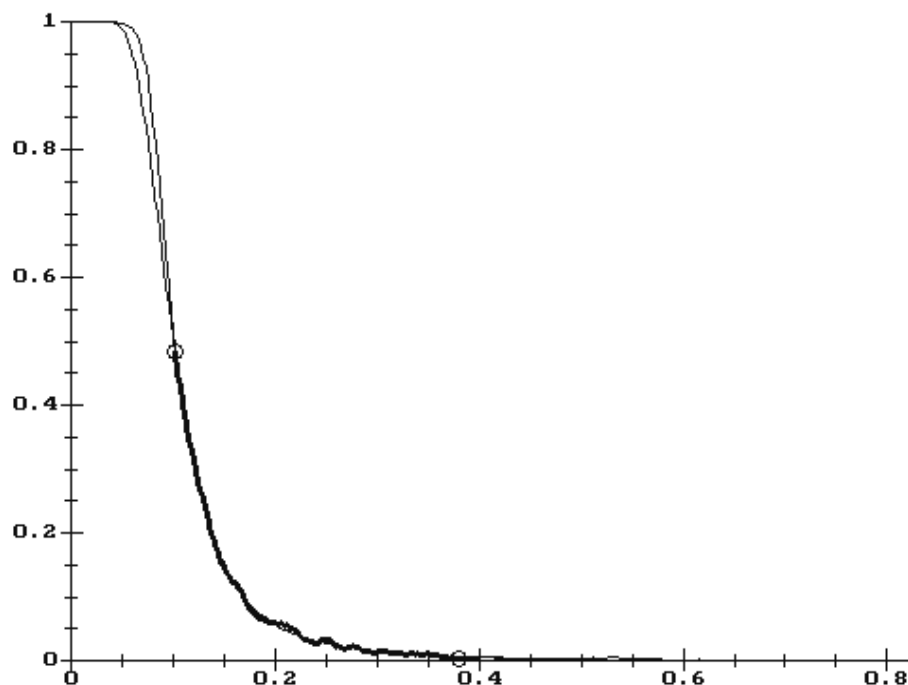
Prílohy obsahujú pre každú z použitých priadzí originálny graf *Empirickej kriky sčernenia pre dva typy chlpatosti* z programu „Chlupatost-1“, ktorý bol popísaný v kapitole **3.1.7 Určenie parametrov teoretického modelu chlpatosti** ako komentár k obrázku č. 15.

Prílohy tiež obsahujú originálny graf *Integrálnej krivky celkovej chlpatosti* z programu „Intchlup3“, ktorý vysvetľuje obrázok č. 17 v kapitole **3.3.2 Vyhodnotenie priemeru priadze a porovnanie chlpatosti priadze s výsledkom**

**Príloha I**

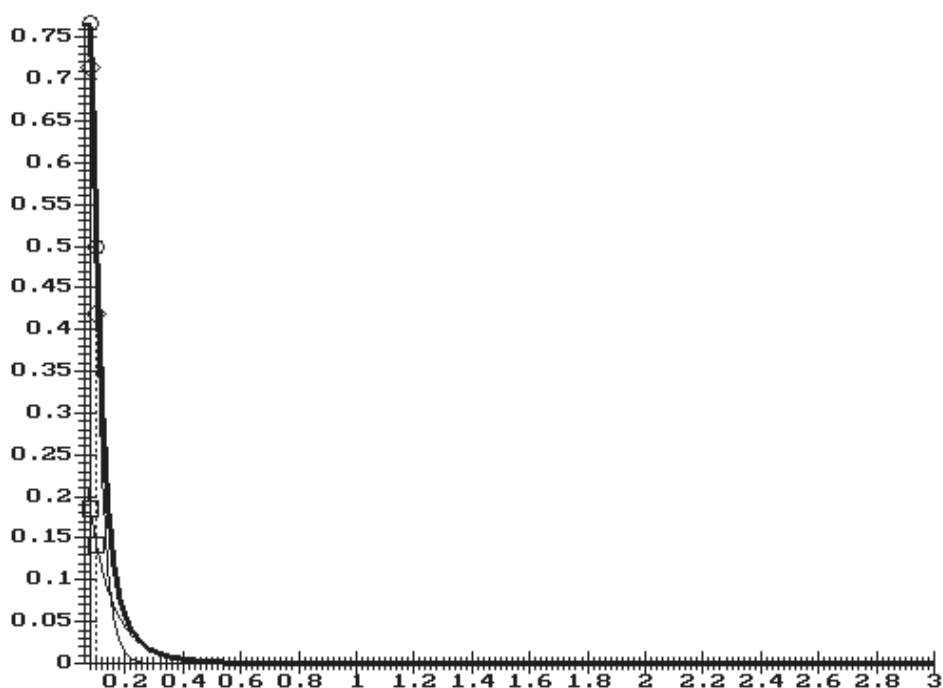
Graf č. I. a: Empirická krivka sčernenia pre 2 typy chlpatosti pre priadzu  $T = 14,5$  [tex]

a  $\alpha = 70$  [ $\text{m}^{-1} \text{ktex}^{2/3}$ ]



Graf č. I. b: Integrálne krivky celkovej chlpatosti pre priadzu  $T = 14,5$  [tex] a

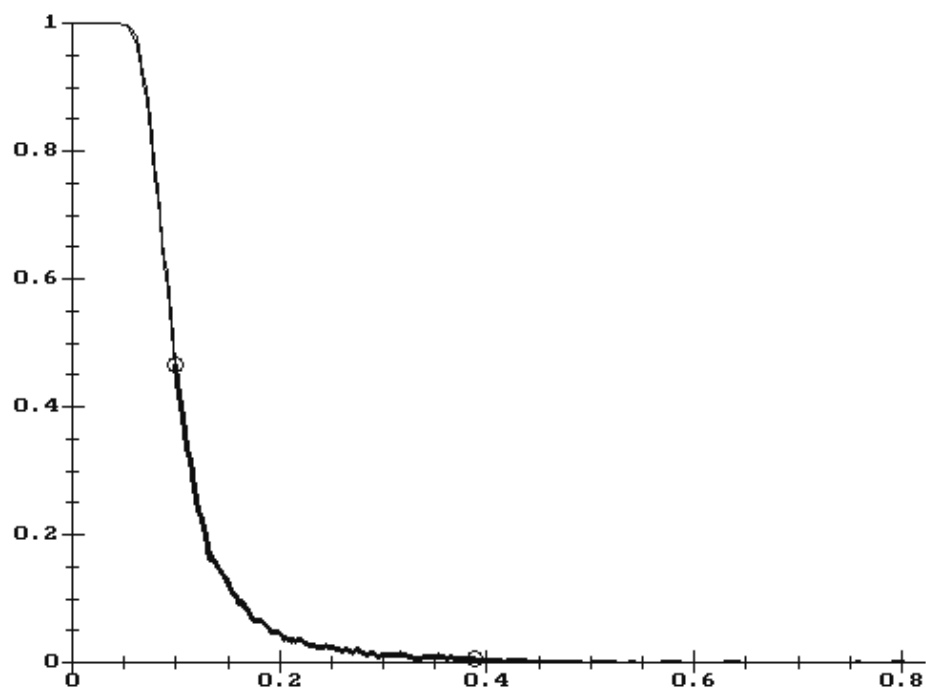
$\alpha = 70$  [ $\text{m}^{-1} \text{ktex}^{2/3}$ ]



**Príloha II**

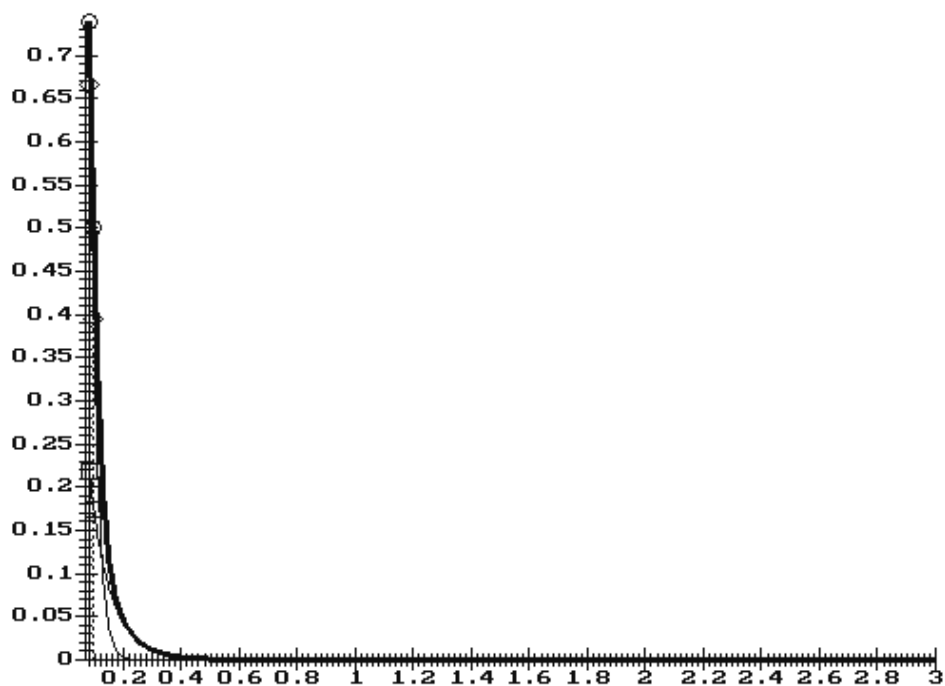
Graf č. II. a: Empirická krivka sčernenia pre 2 typy chlpatosti pre priadzu

$$T = 14,5 \text{ [tex]} \text{ a } \alpha = 85 \text{ [m}^{-1} \text{ ktex}^{2/3} \text{]}$$



Graf č. II. b: Integrálne krivky celkovej chlpatosti pre priadzu  $T = 14,5 \text{ [tex]}$  a

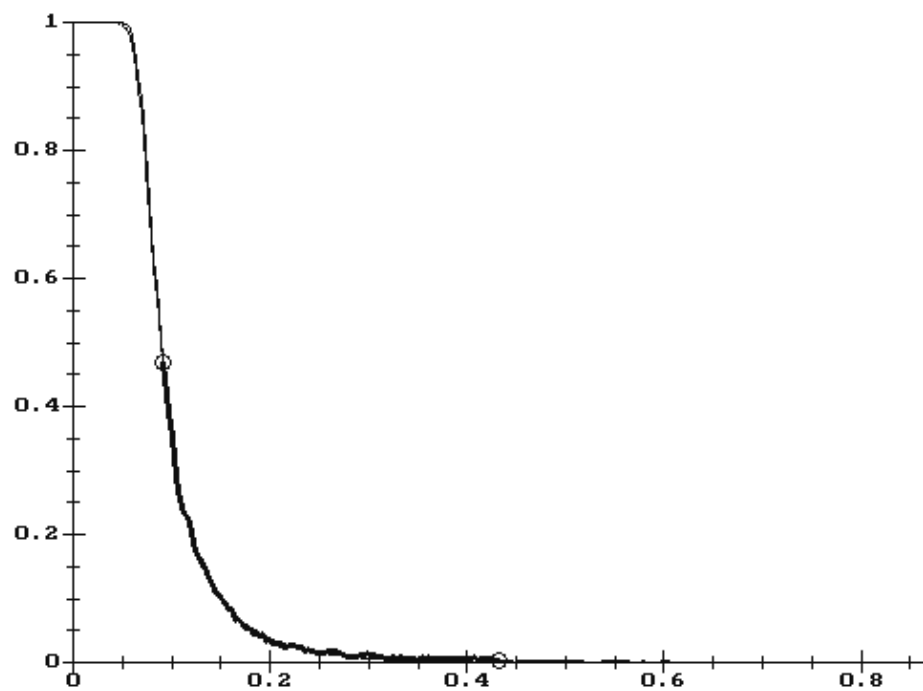
$$\alpha = 85 \text{ [m}^{-1} \text{ ktex}^{2/3} \text{]}$$



**Príloha III**

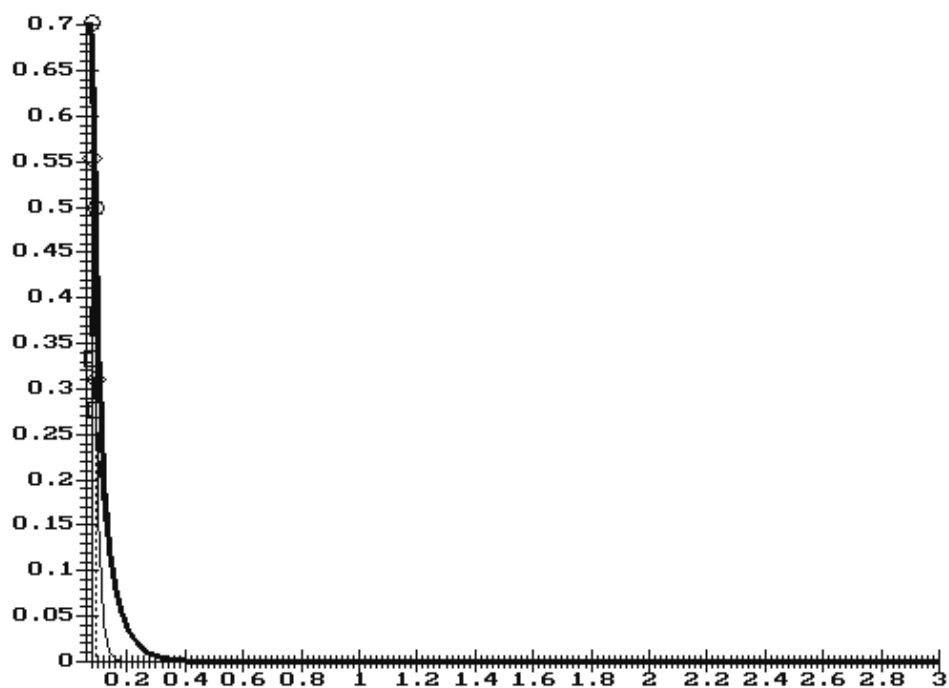
Graf č. III. a: Empirická krivka sčernenia pre 2 typy chlpatosti pre priadzu

$$T = 14,5 \text{ [tex]} \text{ a } \alpha = 100 \text{ [m}^{-1} \text{ ktex}^{2/3} \text{]}$$



Graf č. III. b: Integrálne krivky celkovej chlpatosti pre priadzu  $T = 14,5 \text{ [tex]}$  a

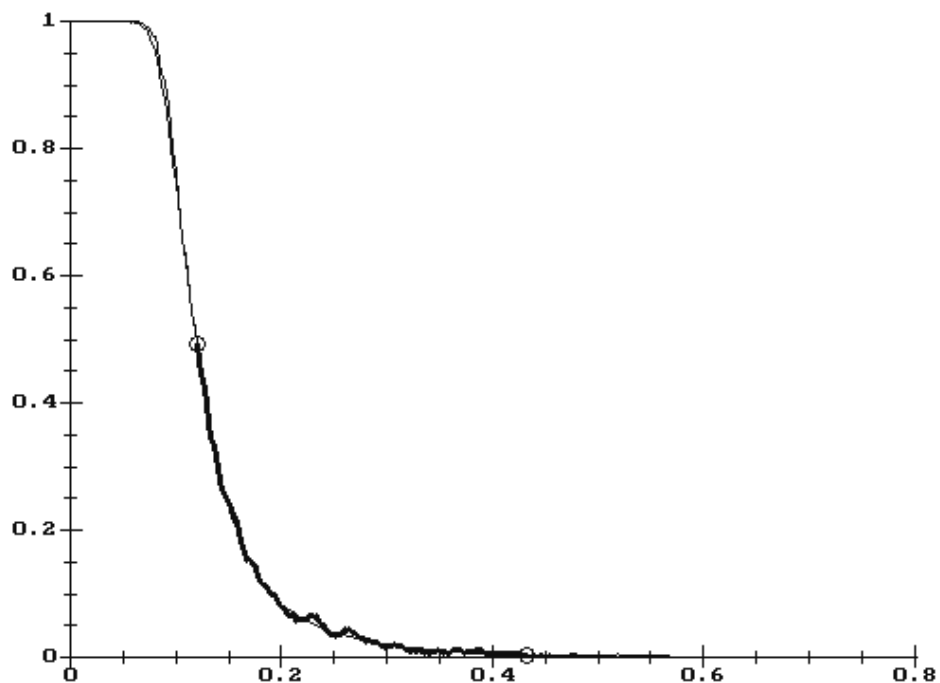
$$\alpha = 100 \text{ [m}^{-1} \text{ ktex}^{2/3} \text{]}$$



**Príloha IV**

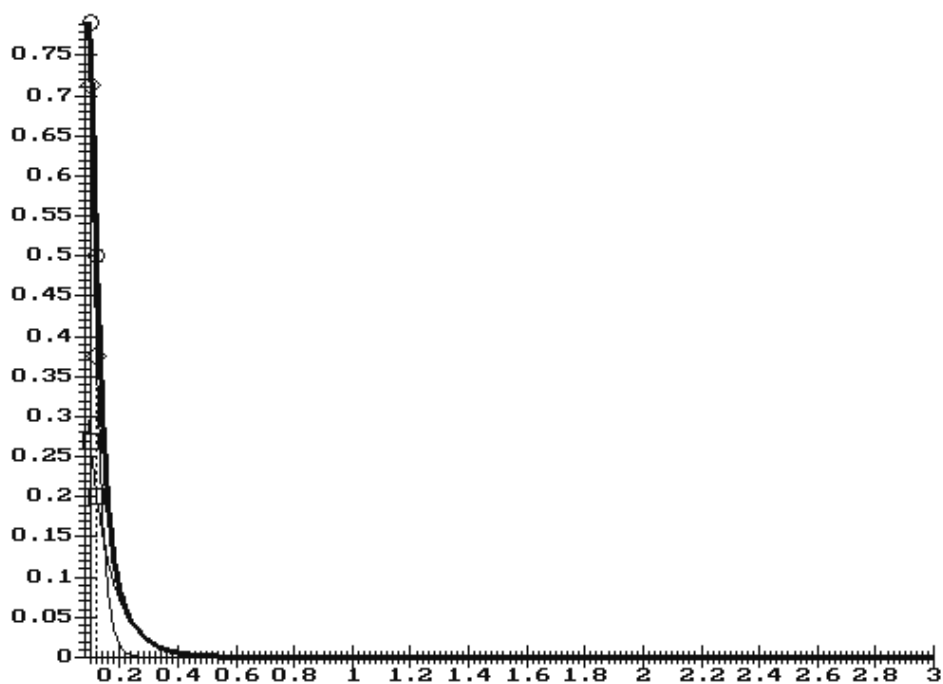
Graf č. IV. a: Empirická krivka sčernenia pre 2 typy chlpatosti pre priadzu T = 20 [tex]

$$\alpha = 70 [\text{m}^{-1} \text{ktex}^{2/3}]$$



Graf č. IV. b: Integrálne krivky celkovej chlpatosti pre priadzu T = 20 [tex] a

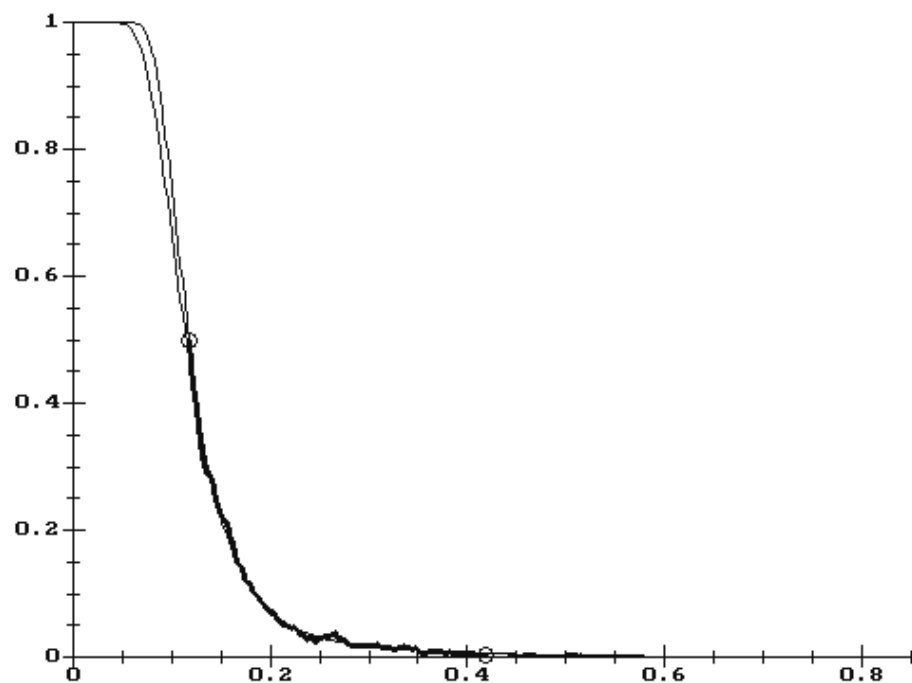
$$\alpha = 70 [\text{m}^{-1} \text{ktex}^{2/3}]$$



## Príloha V

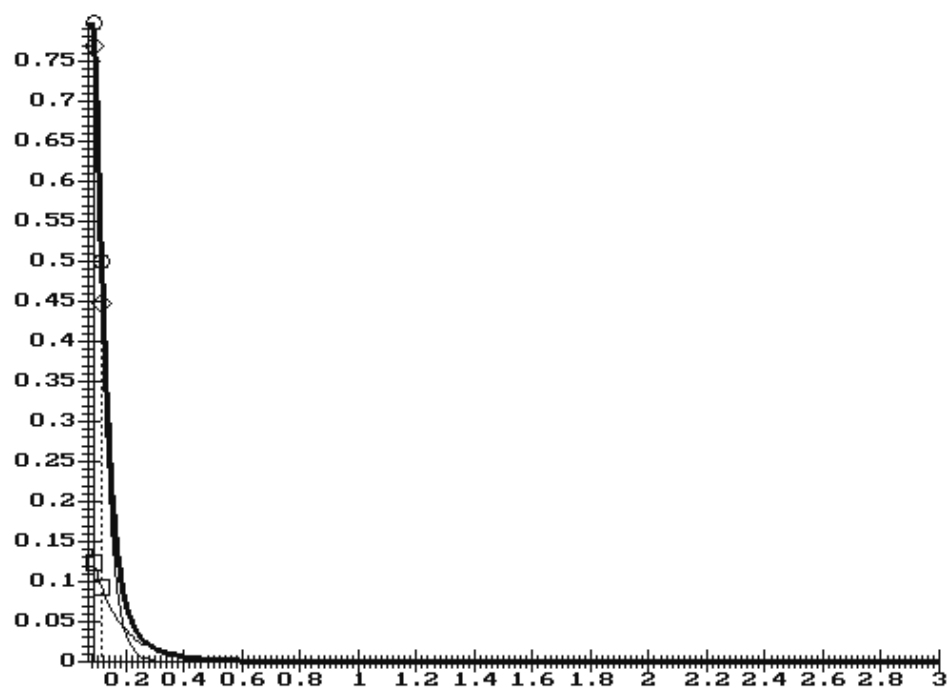
Graf č. V. a: Empirická krivka sčernenia pre 2 typy chlpatosti pre priadzu T = 20 [tex]

$$a \alpha = 85 [\text{m}^{-1} \text{ktex}^{2/3}]$$



Graf č. V. b: Integrálne krivky celkovej chlpatosti pre priadzu T = 20 [tex] a

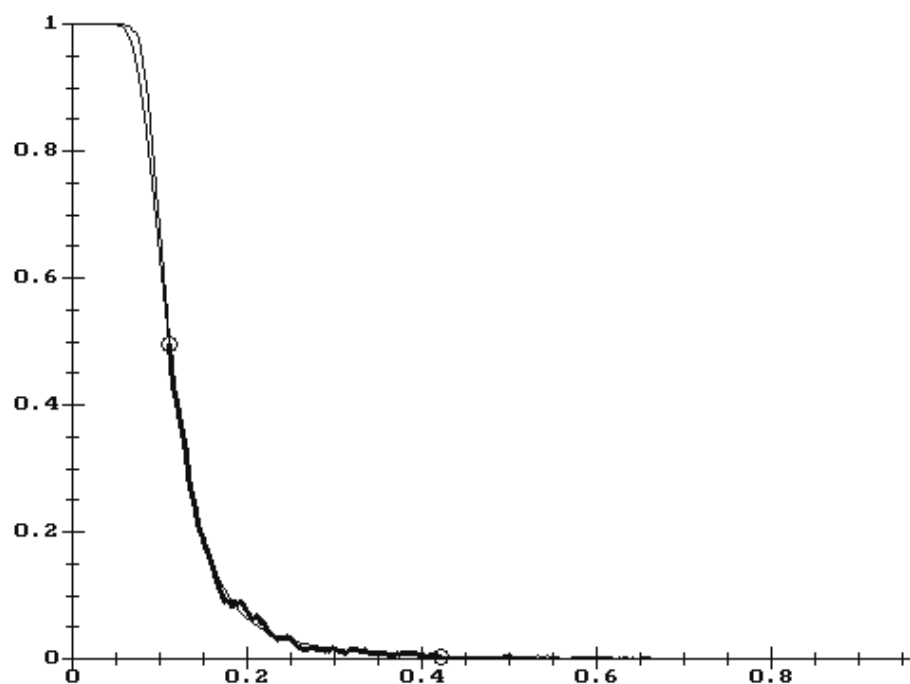
$$\alpha = 85 [\text{m}^{-1} \text{ktex}^{2/3}]$$



## Príloha VI

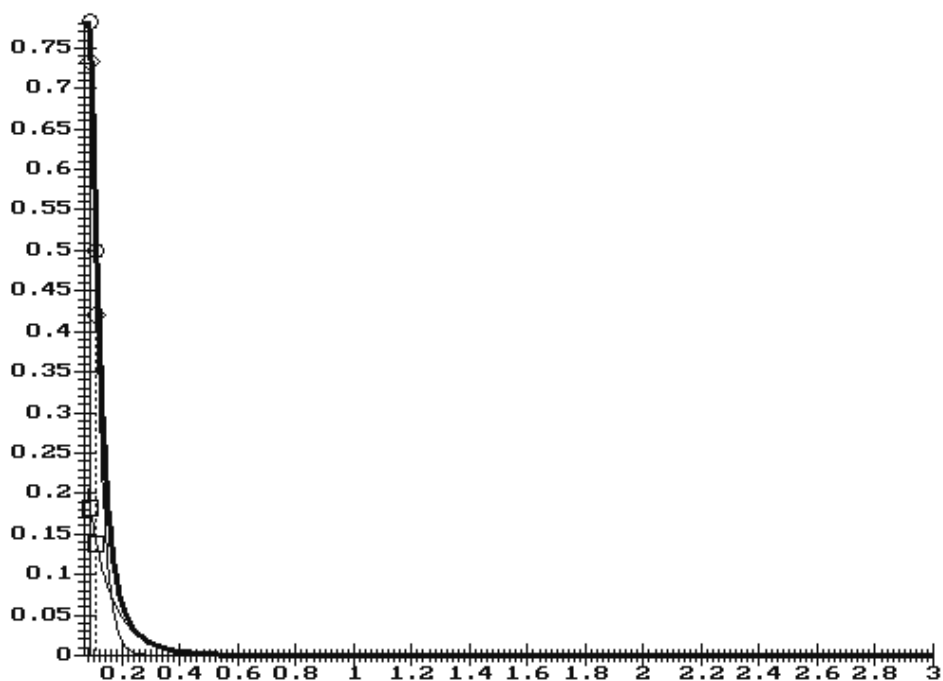
Graf č. VI. a: Empirická krivka sčernenia pre 2 typy chlpatosti pre priadzu T = 20 [tex]

$$\alpha = 100 [\text{m}^{-1} \text{ktex}^{2/3}]$$



Graf č. VI. b: Integrálne krivky celkovej chlpatosti pre priadzu T = 20 [tex] a

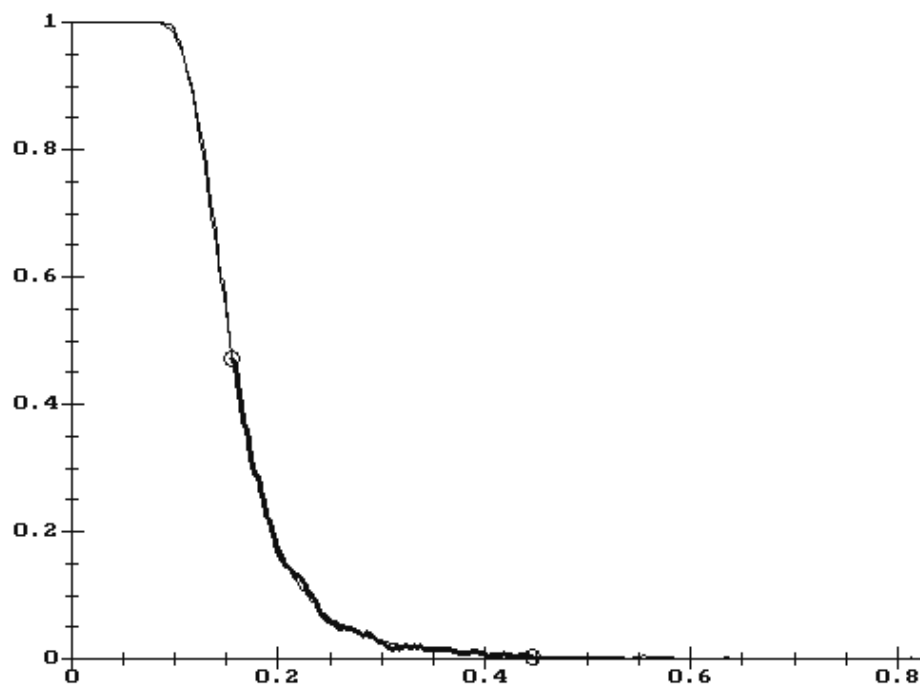
$$\alpha = 100 [\text{m}^{-1} \text{ktex}^{2/3}]$$



**Príloha VII**

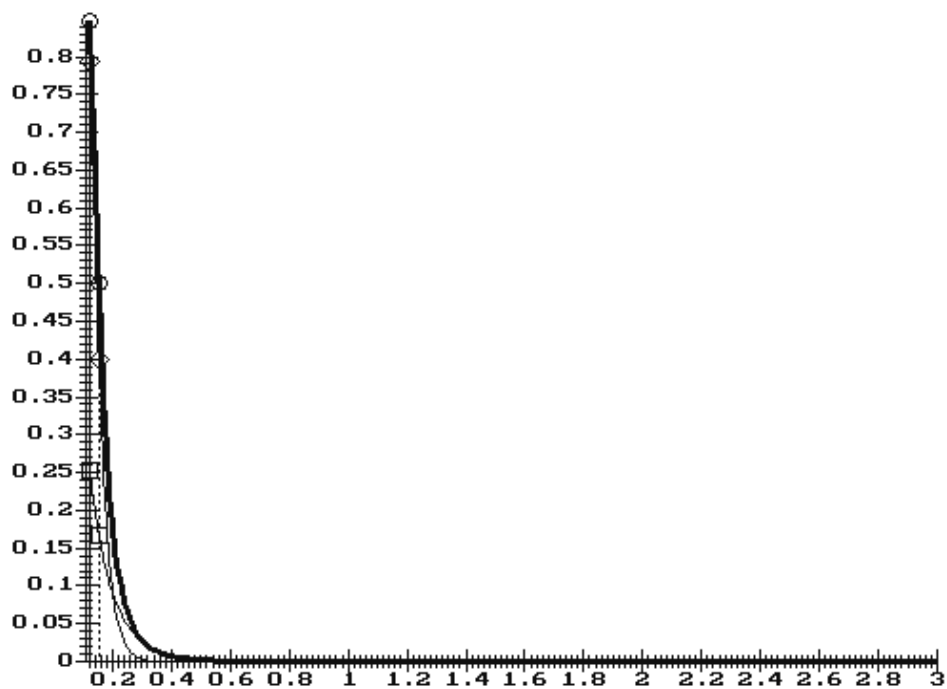
Graf č. VII. a: Empirická krivka sčernenia pre 2 typy chlpatosti pre priadzu

$$T = 35,5 \text{ [tex]} \text{ a } \alpha = 70 \text{ [m}^{-1} \text{ ktex}^{2/3} \text{ ]}$$



Graf č. VII. b: Integrálne krivky celkovej chlpatosti pre priadzu  $T = 35,5 \text{ [tex]}$  a

$$\alpha = 70 \text{ [m}^{-1} \text{ ktex}^{2/3} \text{ ]}$$

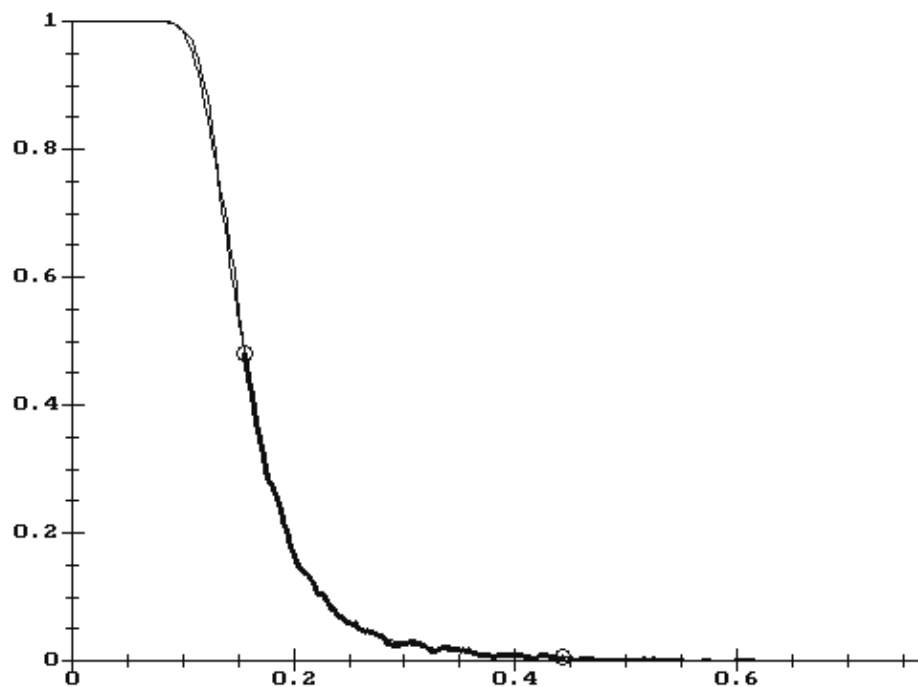




**Príloha VIII**

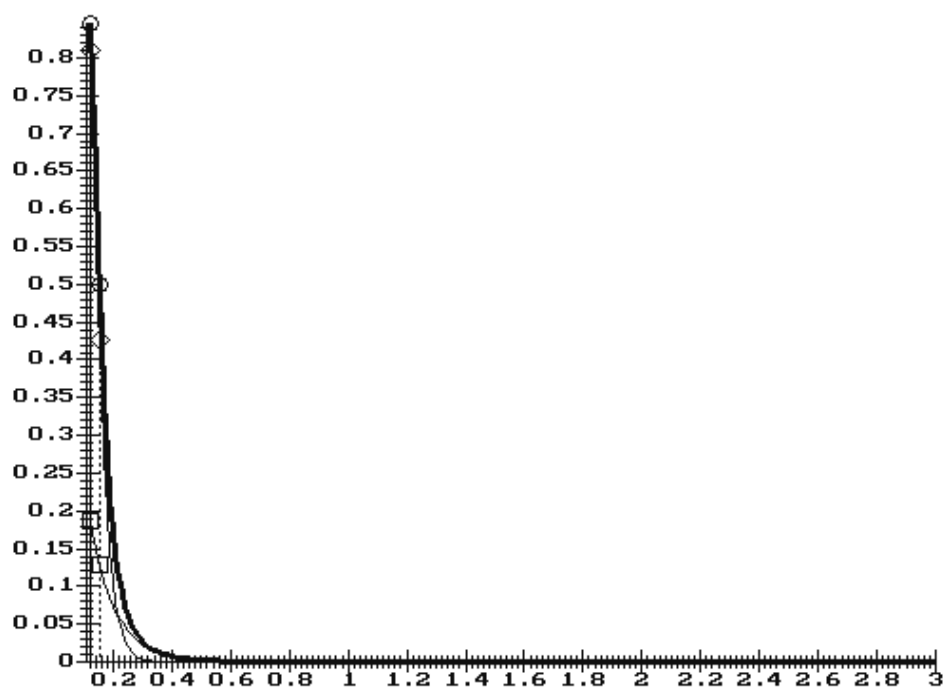
Graf č. VIII. a: Empirická krivka sčernenia pre 2 typy chlpatosti pre priadzu

$$T = 35,5 \text{ [tex]} \text{ a } \alpha = 85 \text{ [m}^{-1} \text{ ktex}^{2/3} \text{]}$$



Graf č. VIII. b: Integrálne krivky celkovej chlpatosti pre priadzu  $T = 35,5 \text{ [tex]}$  a

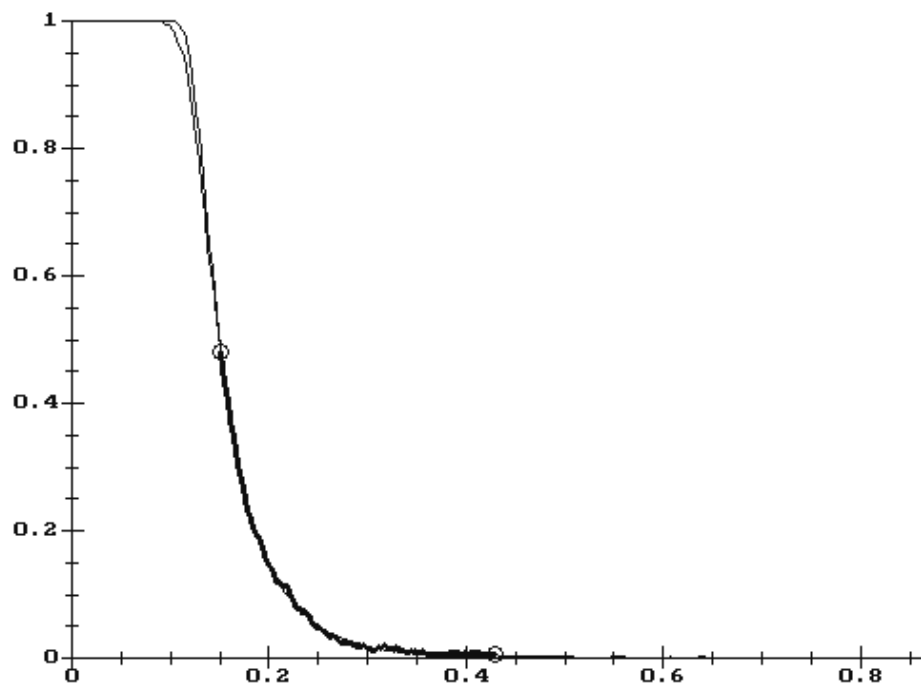
$$\alpha = 85 \text{ [m}^{-1} \text{ ktex}^{2/3} \text{]}$$



**Príloha IX**

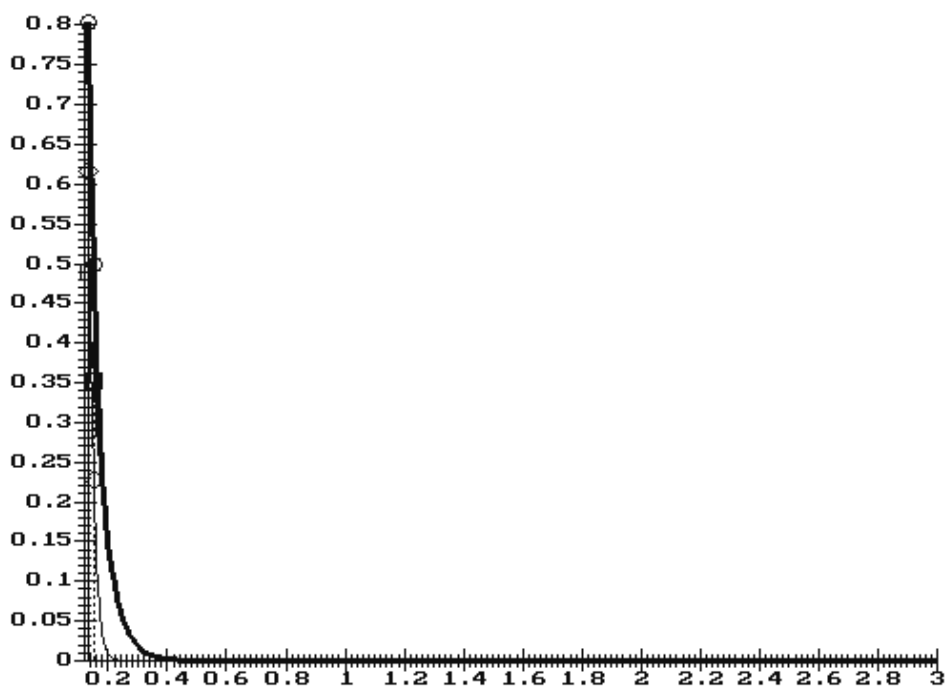
Graf č. IX. a: Empirická krivka sčernenia pre 2 typy chlpatosti pre priadzu

$$T = 35,5 \text{ [tex]} \text{ a } \alpha = 100 \text{ [m}^{-1} \text{ ktex}^{2/3} \text{]}$$



Graf č. IX. b: Integrálne krivky celkovej chlpatosti pre priadzu T = 35,5 [tex] a

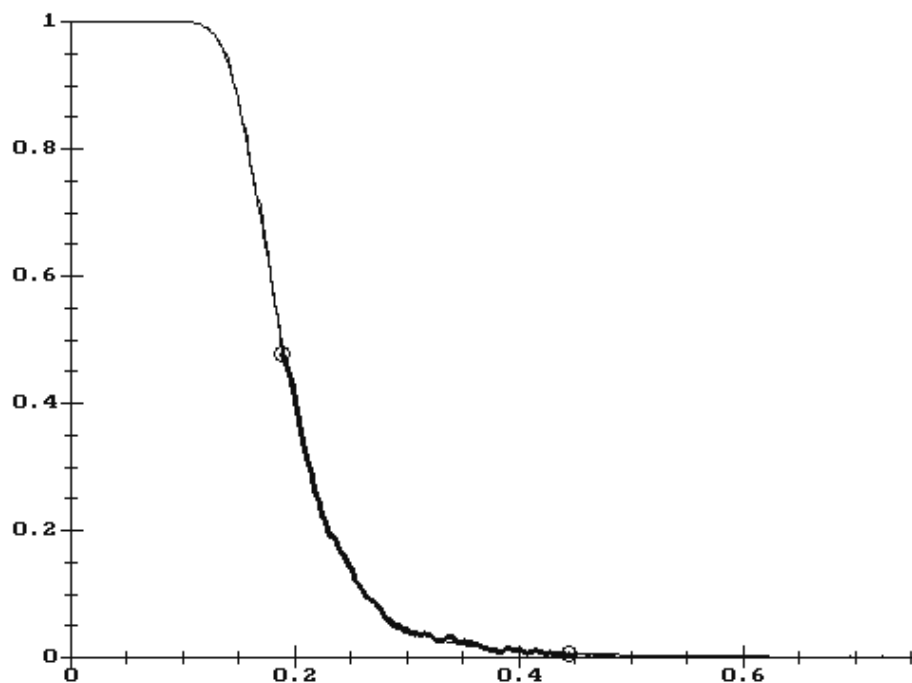
$$\alpha = 100 \text{ [m}^{-1} \text{ ktex}^{2/3} \text{]}$$



**Príloha X**

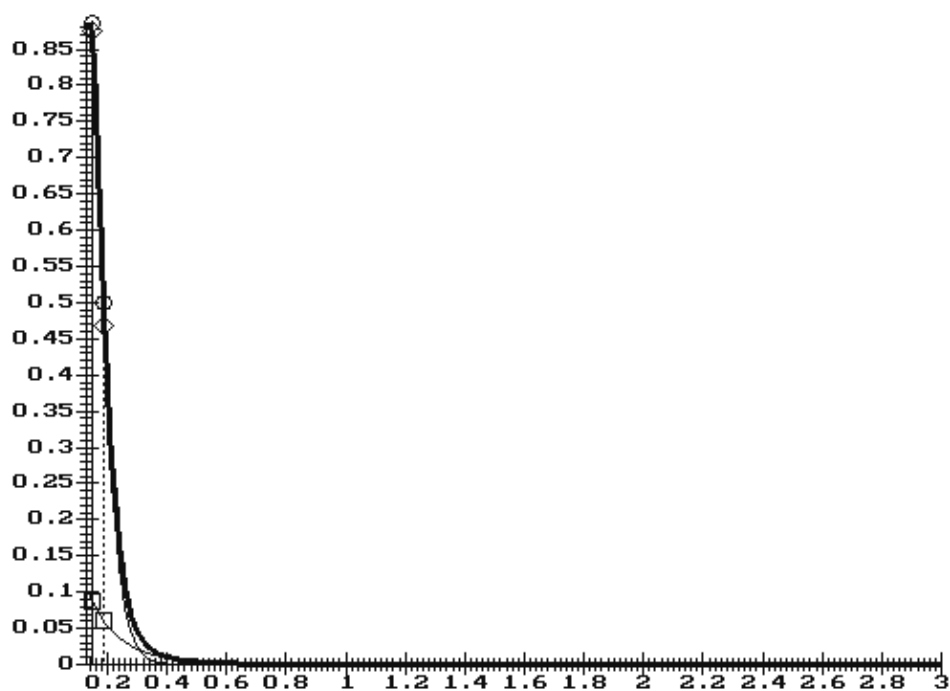
Graf č. X. a: Empirická krivka sčernenia pre 2 typy chlpatosti pre priadzu T = 50 [tex]

$$\alpha = 70 [\text{m}^{-1} \text{ktex}^{2/3}]$$



Graf č. X. b: Integrálne krivky celkovej chlpatosti pre priadzu T = 50 [tex] a

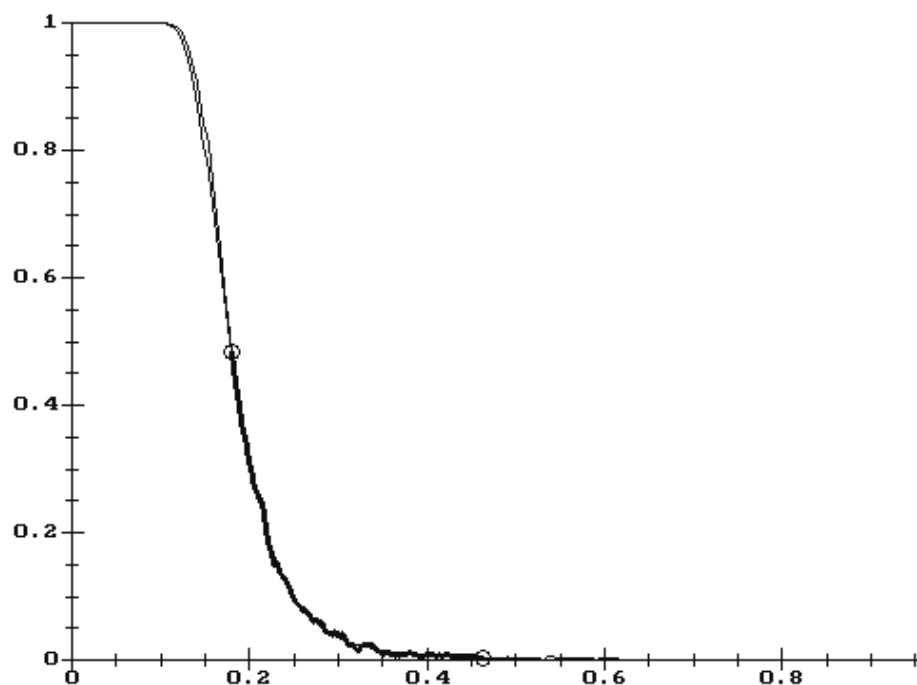
$$\alpha = 70 [\text{m}^{-1} \text{ktex}^{2/3}]$$



**Príloha XI**

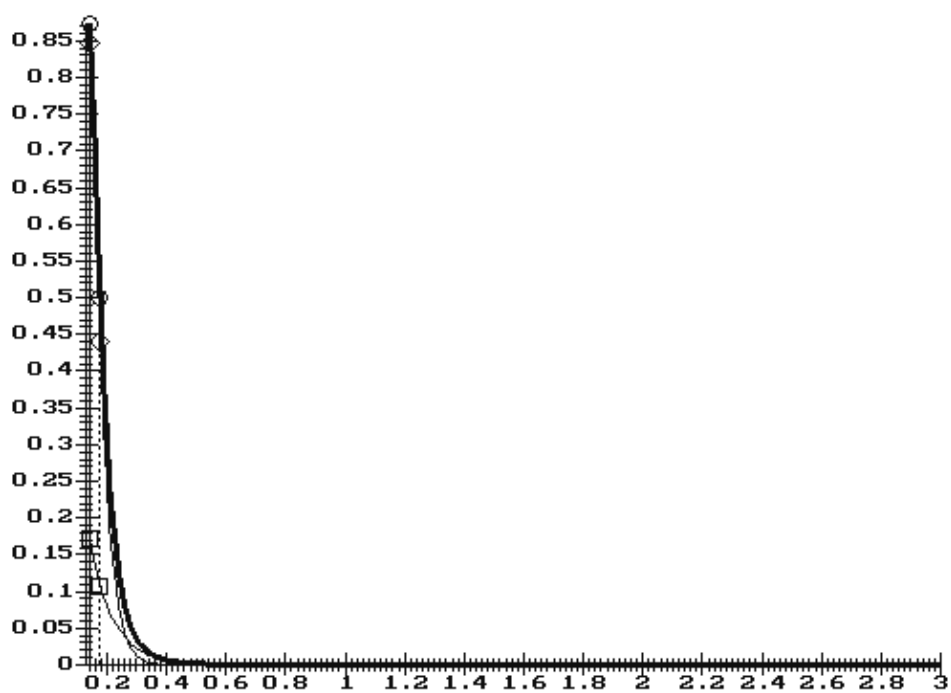
Graf č. XI. a: Empirická krivka sčernenia pre 2 typy chlpatosti pre priadzu T = 50 [tex]

$$\alpha = 85 [\text{m}^{-1} \text{ktex}^{2/3}]$$



Graf č. XI. b: Integrálne krivky celkovej chlpatosti pre priadzu T = 50 [tex] a

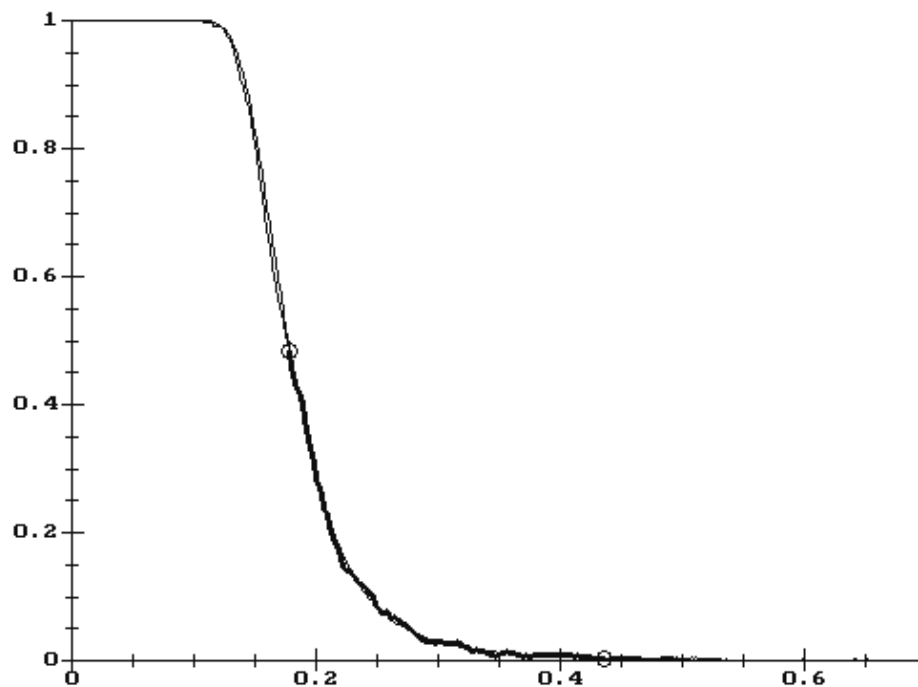
$$\alpha = 85 [\text{m}^{-1} \text{ktex}^{2/3}]$$



**Príloha XII**

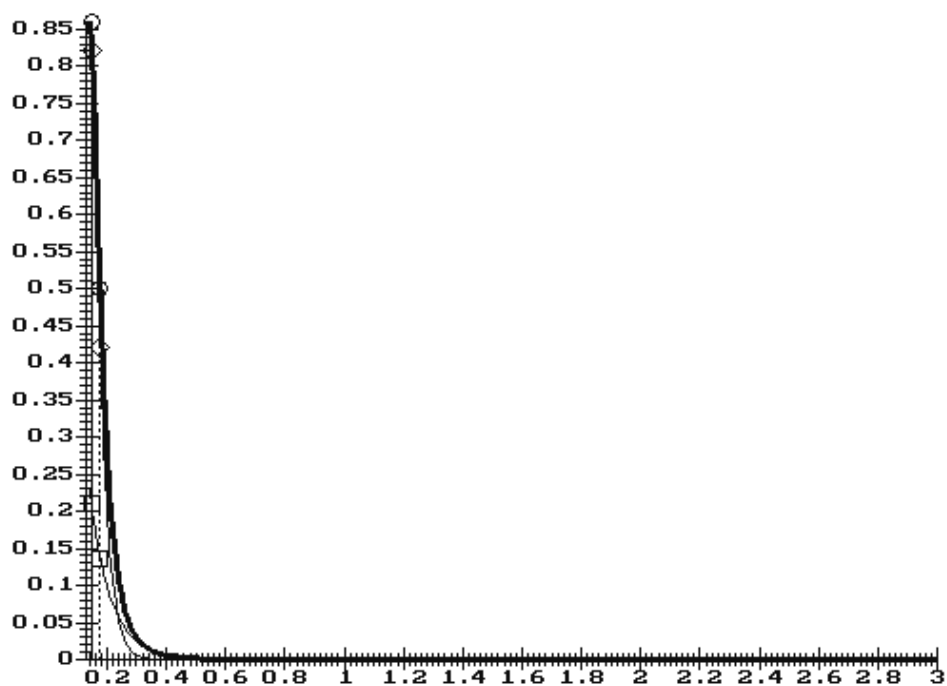
Graf č. XII. a: Empirická krivka sčernenia pre 2 typy chlpatosti pre priadzu

$$T = 50 \text{ [tex]} \text{ a } \alpha = 100 \text{ [m}^{-1} \text{ ktex}^{2/3}]$$



Graf č. XII. b: Integrálne krivky celkovej chlpatosti pre priadzu  $T = 50 \text{ [tex]}$  a

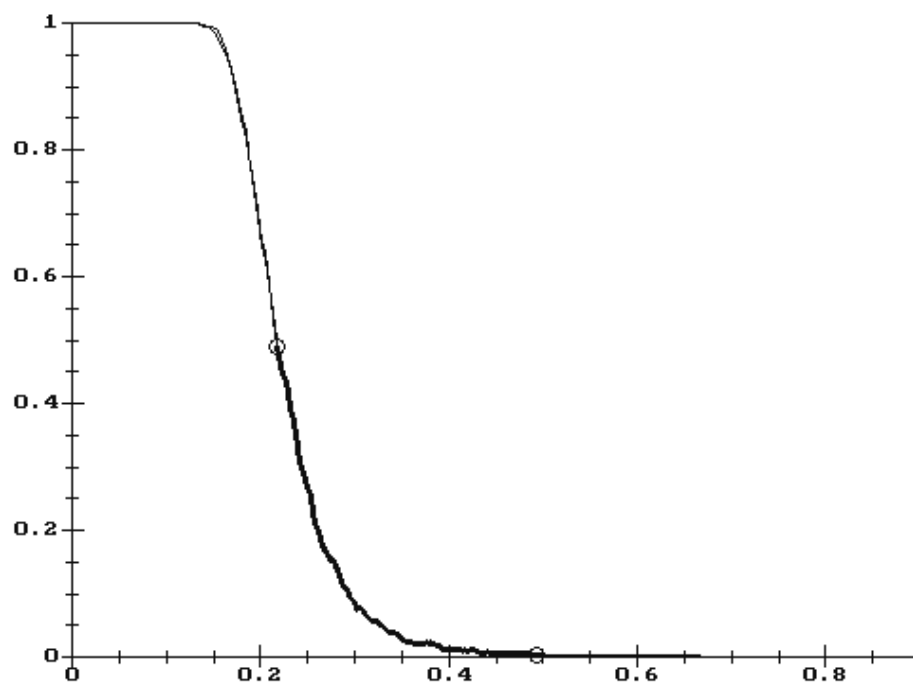
$$\alpha = 100 \text{ [m}^{-1} \text{ ktex}^{2/3}]$$



**Príloha XIII**

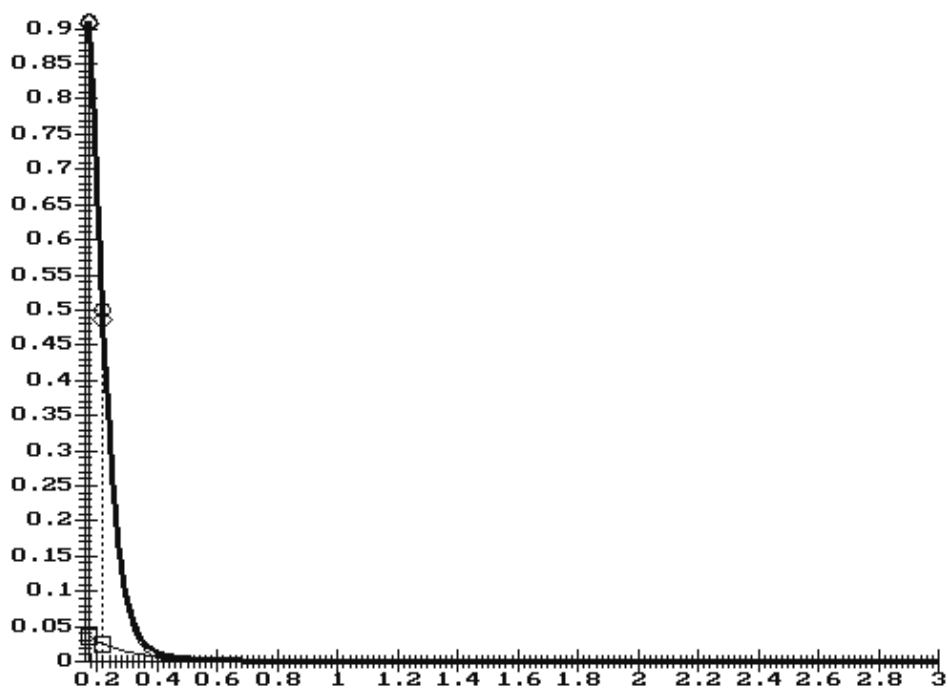
Graf č. XIII. a: Empirická krivka sčernenia pre 2 typy chlpatosti pre priadzu

$$T = 72 \text{ [tex]} \text{ a } \alpha = 70 \text{ [m}^{-1} \text{ ktex}^{2/3} \text{]}$$



Graf č. XIII. b: Integrálne krivky celkovej chlpatosti pre priadzu  $T = 72 \text{ [tex]}$  a

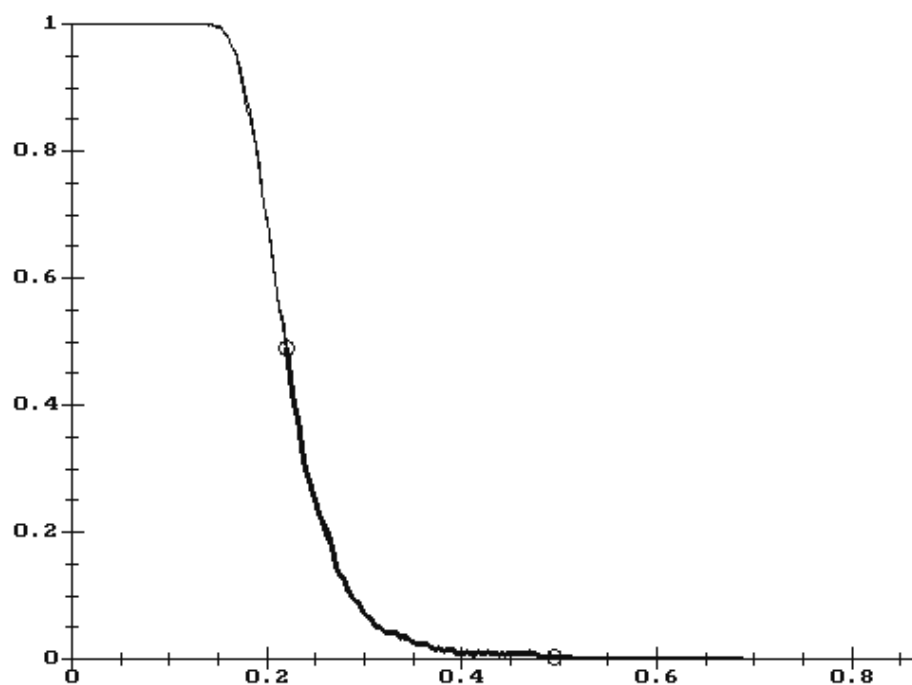
$$\alpha = 70 \text{ [m}^{-1} \text{ ktex}^{2/3} \text{]}$$



**Príloha XIV**

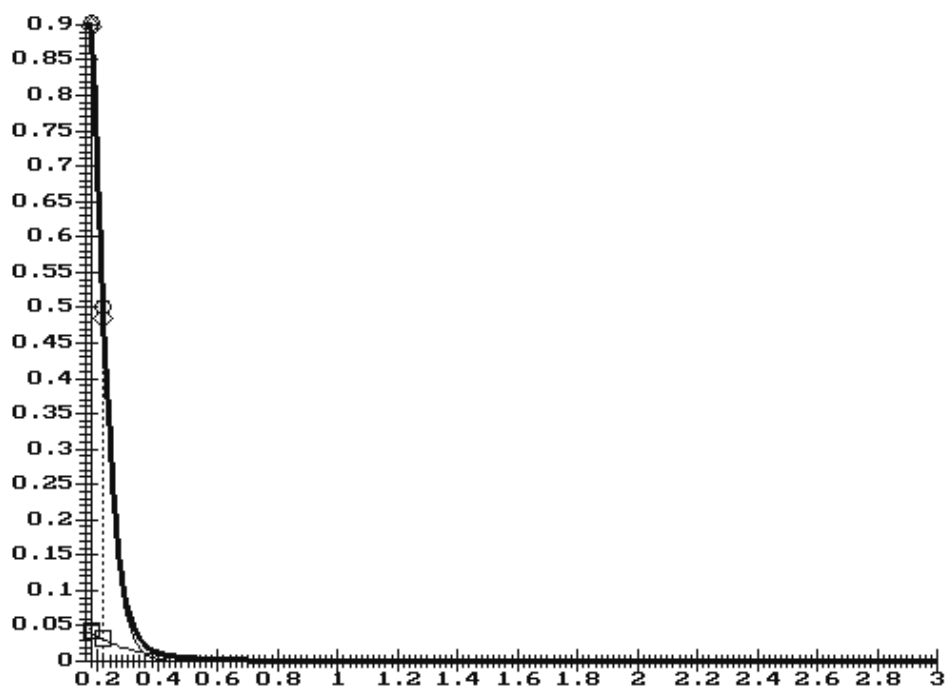
Graf č. XIV. a: Empirická krivka sčernenia pre 2 typy chlpatosti pre priadzu

$$T = 72 \text{ [tex]} \text{ a } \alpha = 85 \text{ [m}^{-1} \text{ ktex}^{2/3} \text{]}$$



Graf č. XIV. b: Integrálne krivky celkovej chlpatosti pre priadzu  $T = 72 \text{ [tex]}$  a

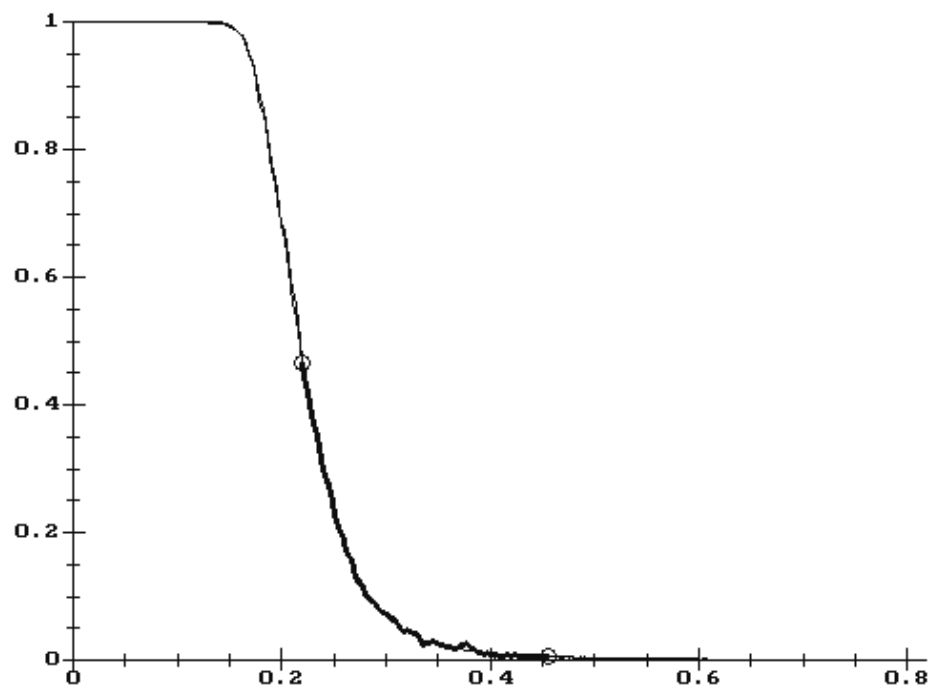
$$\alpha = 85 \text{ [m}^{-1} \text{ ktex}^{2/3} \text{]}$$



**Príloha XV**

Graf č. XV. a: Empirická krivka sčernenia pre 2 typy chlpatosti pre priadzu

$$T = 72 \text{ [tex]} \text{ a } \alpha = 100 \text{ [m}^{-1} \text{ ktex}^{2/3} \text{]}$$



Graf č. XV. b: Integrálne krivky celkovej chlpatosti pre priadzu  $T = 72 \text{ [tex]}$  a

$$\alpha = 100 \text{ [m}^{-1} \text{ ktex}^{2/3} \text{]}$$

